
LEHMÄNLANNAN HYGIENISOITUMINEN KOMPOSTOINNISSA

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU

Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Bio- ja elintarviketekniikka
Ympäristöbiotekniikka

Visamäki, kevät 2013

Taija Taavo

VISAMÄKI

Bio- ja elintarviketekniikka

Ympäristöbiotekniikka

Tekijä	Taija Taavo	Vuosi 2013
Työn nimi	Lehmänlannan hygienisoituminen kompostoinnissa	

TIIVISTELMÄ

Separoitu ja kompostoitu lehmänlanta on yksi vaihtoehto kuivikkeena erityisesti navetoissa. Kuivikkeiden hinta nousee jatkuvasti ja etenkin suurilla karjatiloilta lehmänlantaa syntyy enemmän kuin omien peltojen lannoitukseen tarvitaan. Separoidusta lehmänlannan kiintoainejakeesta tehtyä kuiviketta on kehitetty ja tutkittu mm. Yhdysvalloissa, Euroopassa ja Kanadassa. Tämä opinnäytetyö on ensimmäinen Suomessa tehty vastaavaanlainen julkinen selvitys ja tavoitteena oli tutkia separoidun ja kompostoidun lehmänlannan soveltuvuutta kuivikkeeksi prosessin aikana tehtyjen havaintojen, aiempien julkaisujen sekä tehtyjen analyysien perusteella.

Pääpaino tässä työssä oli tutkia separoidun lehmänlannan mikrobiologiaa muutoksia kompostoinnin aikana käytettyjen indikaattorien (*Escherichia coli* ja koliformit) osalta. Saadusta kompostoidusta lopputuotteesta tutkittiin sen soveltuvuutta kuivikkeeksi mm. vedenpidätyskyvyn osalta. Työ suoritettiin Hämeen ammattikorkeakoulun ja tammelalaisen maidontuotantotilan yhteistyöprojektina. Työ kuului osana Minkinlanta lannoitteeksi ammattikorkeakoulun ja tutkimuslaitoksen yhteisenä innovaationa – projektiin, joka oli julkinen EAKR-hanke.

Lehmän lietelantaa separoitiin kahdella eri seulakoolla ja kiintoainejakeet kompostoitiin kasoissa. Indikaattorimikrobien määrä väheni 5 - 7 vuorokauden kompostoinnin jälkeen (*E. coli* 5 vrk \leq 127 pmy/g, 7 vrk \leq 23 pmy/g ja koliformit 5 vrk \leq 145 pmy/g, 7 vrk \leq 23 pmy/g), jolloin kasat saavuttivat yli 60 °C lämpötilan. Kompostointiprosessin jatkuessa kompostimassa kontaminoitui uudelleen ja erityisesti koliformien pitoisuudet nousivat.

Tehtyjen analyysien perusteella voidaan todeta, että tutkittujen indikaattorimikrobien pitoisuus pienenee kompostoinnissa jo noin viikon kompostoinnin jälkeen. Kompostointiprosessissa tulisi kuitenkin kiinnittää huomiota erityisesti kompostimassan uudelleenkontaminoitumisen ehkäisyyn.

Avainsanat hygienisoituminen, kompostointi, koliformit, *E. coli*

Sivut 49 s. + liitteet 6 s.

VISAMÄKI

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering
Environmental biotechnology

Author

Taija Taavo

Year 2013

Subject of Bachelor's thesis

Hygienization of Manure Solids in Composting

ABSTRACT

Separated and composted manure solids are one of the bedding alternatives in barns. The costs of bedding materials are constantly rising and particularly in large farms huge amounts of stock manure is developed and all of it can't be used as a fertilizer. Separated manure solids as a bedding material has been studied in the United States, Europe and Canada, but in Finland this is a pioneering public study in this field. The purpose was to examine the feasibility of separated and composted manure solids as a bedding material according to previous publications, observations that have been made during the process and performed analyses.

The main goal of this thesis was to study the microbiological changes in separated manure solids during the composting process using indicator organisms (*Escherichia coli* and coliforms). The feasibility of the composted end-product as a bedding material was also tested for the water-holding capacity. The thesis was carried out in cooperation with HAMK University of Applied Sciences and a dairy farm in Tammela. The project was financed by EAKR and the thesis was a part of a common innovation project of the university and research institute called "Minkinlanta lannoitteeksi" (Mink manure as a fertilizer).

Liquid manure was separated with two different sizes of separators and solid fractions were composted in piles. The amount of indicator organisms was reduced after 5 - 7 days of composting (*E. coli* 5 d \leq 127 cfu/g, 7 d \leq 23 cfu/g and coliforms 5 d \leq 145 cfu/g, 7 d \leq 23 cfu/g) when piles reached the temperature of 60 °C. On the continuation of the composting process the mass was contaminated and especially the levels of the coliforms were risen.

According to the analyses performed the indicator organisms were reduced already after about a week of composting. In the composting process special attention should be paid to preventing the contamination of composting mass.

Keywords hygienization, composting, coliforms, *E. coli*

Pages 49 p. + appendices 6 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KIRJALLISUUS	2
2.1	Lanta ja kuivike	2
2.1.1	Lehmänlannan ominaisuudet	2
2.1.1.1.	Lannan sisältämät mikrobit	2
2.1.2	Kuivikkeen ominaisuudet	2
2.2	Kompostointi	3
2.2.1	Kompostoinnin vaiheet ja olosuhteet	3
2.2.2	Hygienisoituminen	5
2.2.2.1.	Indikaattorimikrobin valinta	7
2.2.3	Kompostointitekniikoita	7
2.2.4	Kompostin käyttö	9
2.2.4.1.	Kompostoidun lehmänlannan kuivikekäyttö	10
3	MATERIAALIT JA MENETELMÄT	12
3.1	Lietelannan separointi	12
3.1.1	Separointijärjestelyt ja näytteenotto	13
3.1.2	Separoinnin vaikutukset	14
3.2	Separoidun lannan kompostointi	14
3.2.1	Kompostointimenetelmä	15
3.2.2	Kompostoinnin edistymisen seuranta	15
3.2.3	Näytteenotto	16
3.3	Määritykset	17
3.3.1	Kuiva-aine, orgaaninen aine ja pH	17
3.3.2	Indikaattorimikrobin valinta	18
3.3.3	Mikrobiologiset menetelmät	18
3.3.4	Näytteet ja näytteenkäsittely	18
3.3.5	Mikrobiologisten menetelmien vertailu	19
3.3.6	Vedenpidätyskyky ja tilavuuspaino	23
4	TULOKSET	25
4.1	Separoinnin tasetarkastelu	25
4.2	Kompostointiprosessi	27
4.2.1	pH	27
4.2.2	Lämpötilaseuranta	28
4.2.3	Kuiva-ainepitoisuudet ja orgaanisen aineen määrä	29
4.2.4	Mikrobiologiset ominaisuudet	31
4.3	Lopputuotteen ja kutterinpurun tarkastelu	35
4.3.1	Kuiva-aine, kosteuspitoisuus, orgaaninen aine ja pH	35
4.3.2	Vedenpidätyskyky ja tilavuuspaino	36
4.3.3	Mikrobiologiset ominaisuudet	37
4.4	Tulosten tarkastelu	38
4.4.1	Separoinnin onnistuminen	38
4.4.2	Kompostoinnin edistyminen ja separoinnin vaikutus kompostointiin	38
4.4.3	Hygienisoituminen	40
4.4.4	Lopputuote ja kutterinpuru	43
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	45

Liite 1	Seulonnan kuiva-ainetaseet rinnakkaisnäytteiden tuloksilla laskettuna
Liite 2	Näytteiden pH-tulokset ja niiden keskihajonnat
Liite 3	Kompostoinnin aikainen lämpötilaseuranta
Liite 4	TS- ja VS-määritysten sekä kosteuspitoisuuksien tulokset
Liite 5	Mikrobiologisten analyysien tulokset (kasat 1 - 3)
Liite 6	Mikrobiologisten analyysien tulokset (kasat 4 - 6)

1 JOHDANTO

Esikäsitellyn lehmänlannan käyttöä kuivikkeena on tutkittu (Harrison, Bonhotal, Schwarz & Fiesinger, 2008; Schwarz, Bonhotal & Harrison, 2008; Schwarz, Bonhotal, & Staehr, n.d.; Vincent corporation, 2001) ja tutkimukset ovat osoittaneet lehmän lannalla olevan potentiaalia karjatilojen kuivikekäytössä. Erityisesti suurilla karjatiloilta lantaa syntyy enemmän kuin sitä tarvitaan lannoitteeksi tilan pelloilla ja siksi lannan hyödyntämiseen on alettu kiinnittää aiempaa enemmän huomiota. Separoidun lannan nestejakeita voitaisiin käyttää lannoitteena ja kiintoainejakeita voitaisiin kompostoida ja käyttää kuivikkeena. Huolenaiheena on kuitenkin erityisesti lehmänlannan sisältämien patogeenien vaikutukset lehmien terveyteen.

Tämän työn tavoitteena oli tutkia lehmänlannan hygienisoitumista kompostoinnin aikana sekä tutkia lopputuotteen ominaisuuksia ja soveltuvuutta kuivikkeeksi. Opinnäytetyö kuului Minkilanta lannoitteeksi ammattikorkeakoulun ja tutkimuslaitoksen yhteisenä innovaationa -projektiin, johon osallistui Hämeen ammattikorkeakoulu ja Maa ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT. Hanke oli EAKR-rahotteinen.

Tämä työ toteutettiin yhteistyössä tammelalaisen maidontuotantotilan ja Hämeen ammattikorkeakoulun välillä. Työhön kuului lehmän lietelannan separointi ja kiintoainejakeen kompostointi sekä prosessin aikana otettujen näytteiden analysointi. Analyysit tehtiin Hämeen ammattikorkeakoulun laboratoriossa ja separointi ja kompostointi tehtiin tammelalaisen vanhan sikalan tiloissa.

Separointiprosessi suoritettiin kahdella eri seulakoolla, minkä vaikutusta kompostoitumiseen pyrittiin selvittämään. Näytteitä otettiin raakalietteestä, kiintoainejakeesta sekä nestejakeesta, joista selvitettiin kuivaainepitoisuus ja orgaanisen aineen määrä. Saatujen kuivaainepitoisuuksien perusteella separointiprosessille laskettiin kuivaainetaseet molemmille seuloille.

Näytteitä otettiin kompostointiprosessin (24 - 26 vrk) aikana sekä kompostointiprosessin jälkeen. Kompostoinnin aikana suoritettiin lämpötilaseuranta, jotta saataisiin selville kompostoinnin edistyminen. Kompostoinnin jälkeen kasat levitettiin, jotta ylimääräinen vesi saataisiin haihdutettua pois ilmakehään. Kompostinäytteistä selvitettiin kuivaainepitoisuutta, orgaanisen aineen määrää, pH:ta sekä indikaattorimikrobien (*Escherichia coli* ja koliformit) pitoisuuksia. Lopputuotteesta selvitettiin kuivaainepitoisuus, orgaanisen aineen määrä, kosteusprosentti, pH, vedenpidätyskyky, tilavuuspaino sekä indikaattorimikrobien pitoisuus. Samat analyysit kuin lopputuotteelle tehtiin myös tilalla käytetylle kuivikkeelle, kuterinpurulle, vertailun mahdollistamiseksi.

2 KIRJALLISUUS

2.1 Lanta ja kuivike

2.1.1 Lehmänlannan ominaisuudet

Lehmänlannalla tarkoitetaan kuivike- tai lietelantaa. Kuivikelanta koostuu kuivikkeeseen sitoutuneesta virtsasta ja sonnasta tai pelkästä sonnasta, jolloin virtsa on erotettu erilliseen virtsasäiliöön. Lietelanta sisältää lehmän sonnan ja virtsan sekä mahdollisesti vettä sekä kuivikkeita ja rehujätettä. (Nikkilä & Nurmi, 2009, 5 - 6).

Sonta tarkoittaa kotieläimen kiinteää ulostetta, joka sisältää suolen mikrobimassaa ja rehun sulamattomia aineksia. Sonta sisältää runsaasti helposti hajoavia energiaa sisältäviä yhdisteitä vaikka suurin osa rehun energiamäärästä kuluukin eläimen kasvuun, elintoimintoihin ja tuotoksiin. (Suomalainen, 2007, 24).

Virtsa puolestaan koostuu vedestä ja liukoisista yhdisteistä, jotka ovat poistuneet eläimen verenkierrosta virtsaan. Orgaaniset yhdisteet hajoavat hyvin nopeasti mikrobi- ja entsyymitoiminnan takia. (Suomalainen, 2007, 24).

2.1.1.1 Lannan sisältämät mikrobit

Lanta sisältää paljon erilaisia mikrobeja ja tuoreen sonnan bakteeripitoisuus voi olla 10^{10} - 10^{13} kpl/g. Lannan jatkokäyttöä ajatellen haitallisia bakteereja ovat muun muassa voihappobakteerit, *Bacillus*-bakteerit ja enterobakteerit. Enterobakteerit kuuluvat *Enterobacteriaceae*-heimoon, johon kuuluu mm. *Escherichia*, *Salmonella*, *Enterobacter* ja *Yersinia* -sukuja. Enterobakteereja esiintyy luonnossa sekä ihmisten ja eläinten suolistoissa, minkä takia ne ovat hyviä indikaattoribakteereita hygienian tarkailussa. (Suomalainen, 2007, 44; Heikkilä, Kemppainen, Karppinen & Sivelä, 2004, 1; Meriluoto, 2009, 19).

Patogeeniset mikrobit ovat tauteja aiheuttavia mikrobeja. Mikrobit voivat levitä lannan mukana ja osa niistä aiheuttaa ruokamyrkytyksiä tuottamiensa myrkyllisten aineiden vuoksi. Käsittelemällä lantaa voidaan kuitenkin hävittää haitalliset mikrobit mahdollisesti kokonaan. Käsitelymenetelmiä voivat olla esimerkiksi kompostoiminen, mädättäminen ja ilmastaminen. Haitallisten mikrobien vähenemistä eli hygienisoitumista määritettäessä ei kannata määrittää kaikkia patogeeneja, vaan kannattaa valita indikaattorimikrobi, jonka vähenemistä seurataan. (Suomalainen, 2007, 44 - 45).

2.1.2 Kuivikkeen ominaisuudet

Kuivikkeita käytetään parantamaan eläinten hyvinvointia: kuivikkeet pitävät lähiympäristön kuivana, lämmittävät ja eristävät eläintä kylmistä rakenteista sekä pehmentävät alustaa ja parantavat navetan ilmanlaatua.

Kuivikkeen valintaan vaikuttaa navettaratkaisut ja lannanpoistojärjestelmä sekä kuivikkeen saatavuus. Lietelantanavetoissa kuivikkeeksi sopii parhaiten turve sekä sahan- ja kutterinpuru, koska ne menevät helposti ritilästä läpi. (Hälli, n.d.)

Kuivikkeen valintaan vaikuttaa myös sen nesteensitomiskyky sekä ammoniakinsitomiskyky. Muita kuivikkeiden tärkeitä ominaisuuksia ovat pölyämättömyys, käsiteltävyys, saatavuus, hinta, loppusijoitus, kompostoitavuus, tilavuuspaino sekä väri ja haju. (Särkijärvi, n.d.)

Turpeella on paras ammoniakin- ja nesteensitomiskyky verrattuna muihin yleisimpiin kuivikkeisiin. Ammoniakinsitomiskykyyn vaikuttaa turpeen happamuus ja nesteensitomiskykyyn turpeen huokoinen rakenne. Turvetta tarvitaan myös vähemmän kuin muita kuivikkeita sen hyvän imukyvyn johdosta. (Särkijärvi, n.d.)

Sahanpurun ja kutterinlastun ammoniakin- ja nesteensitomiskyvyt ovat vain keskinkertaisia tai huonompia, jolloin ilmaan vapautuu ammoniakkia, joka ärsyttää hengitysteitä. Kutterinlastulla on pieni tilavuuspaino, joten varastotilavuus on suurempi kuin esimerkiksi turpeella. (Särkijärvi, n.d.)

Oljen ammoniakin- ja nesteensitomiskyky on huono ja siksi sen kuivikekäyttö perustuu kuivikkeen suureen määrään (Särkijärvi, n.d.). Lietelannan kanssa olki ei sovellu kuivikkeeksi kovinkaan hyvin, mutta kuivalantanavetassa se on käyttökelpoinen kuivike (Hälli, n.d.).

Kompostoidun lannan käyttöä kuivikkeena käsitellään kohdassa 2.2.4.1.

2.2 Kompostointi

Kompostointiprosessi perustuu kompostoitavan materiaalin sisältämien ja ympäristöstä siihen siirtyneisiin mikrobeihin, jotka sopeutuvat olosuhteisiin ja raaka-aineelle parhaiten toimivaksi eliöyhteisöksi. Kompostointi on biologinen prosessi, jossa mikrobit hajottavat orgaanista ainesta tuottaen samalla hiilidioksidia, vettä, lämpöä, monia haihtuvia yhdisteitä ja humuspitoista maanparannusainetta. Kompostoinnin aikainen lämpötilannousu johtuu siis mikrobien toiminnasta, kun mikrobit hyödyntävät käytettävissä olevia raaka-aineita energiakseen ja solujensa rakenneaineiksi tuottamalla hajottamisprosessia katalysoivia entsyymejä. (Paatero, Lehtokari & Kempainen, 1984, 21; Albers, Helle, Varpula, Itävaara, Kapanen & Vikman, 2003, 12.)

2.2.1 Kompostoinnin vaiheet ja olosuhteet

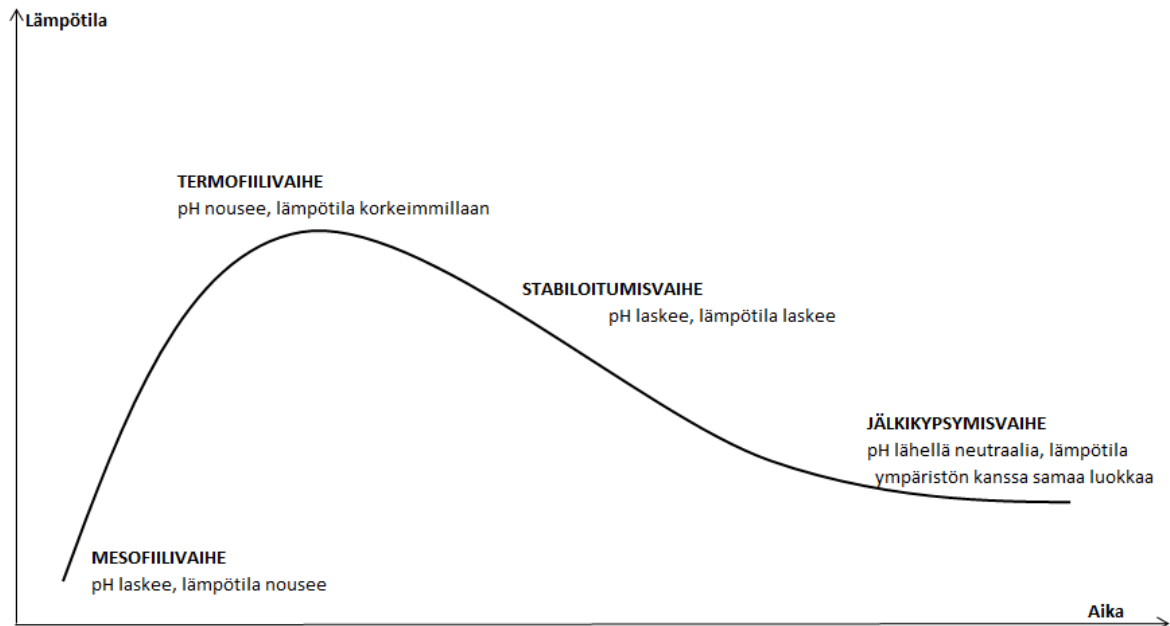
Kompostointiprosessista on erotettavissa neljä päävaihetta: mesofiilivaihe, termofiilivaihe, stabiloitumisvaihe ja jälkikypsytysvaihe (kuvio 1). Kompostin lämpötila on prosessin alussa lähellä ympäristön lämpötilaa. Tällöin kompostissa on Suomen olosuhteissa usein psykrofiilinen tila, jolloin hajotustoiminnasta vastaavat psykrofiiliset mikrobit, jotka viihtyvät 0 - 25 °C lämpötilassa. (Halinen & Tontti, 2004, 12.)

Mesofiilivaihe on kompostointiprosessin ensimmäinen vaihe, jolloin mikrobit hajottavat helposti hajoavat substraatit nopeasti. Helposti hajoavia orgaanisia aineita ovat sokerit, tärkkelys ja rasvat. Mesofiilivaiheessa lämpötila nousee nopeasti johtuen kasvavasta mikrobiaktiivisuudesta. Lämpötilan nousu nopeuttaa myös osaltaan hajoamisprosessia. Tässä vaiheessa alkaa muodostua orgaanisia happoja, jotka laskevat hetkellisesti kompostimassan pH:ta. Mesofiilivaiheessa hapenkulutus on voimakasta ja hajouksesta vastaavat mesofiiliset mikrobit, joiden optimilämpötila on 25 - 45 °C. (Albers ym., 2003, 12; Itävaara, Vikman, Kapanen, Venelampi & Vuorinen, 2006, 7; Halinen & Tontti, 2004, 12.)

Kompostointiprosessin toisena vaiheena on termofiilivaihe, jolloin kompostin lämpötila nousee yli 45 °C:een. Termofiiliset mikrobit viihtyvät yli 45 °C lämpötilassa ja alkavat lisääntyä ja käyttää mesofiilivaiheessa muodostuneita orgaanisia happoja aineenvaihdunnassaan. Proteiinit hajoavat, jolloin prosessista haihtuu ammoniakkia ja typpi muuttuu ammoniummuotoon. Ammoniakin muodostuminen ja orgaanisten happojen käyttö mikrobien aineenvaihdunnassa nostavat kompostin pH:ta. Ammoniakin liika muodostuminen ei kuitenkaan ole kompostointiprosessille hyväksi. Termofiilivaiheessa kompostin lämpötila on korkeimmillaan. Lämpötila voi nousta jopa 70 °C:een. (Albers ym., 2003, 12; Itävaara ym., 2006, 7; Halinen & Tontti, 2004, 12.)

Kun mikrobit ovat hajottaneet helpoimmin hajoavan orgaanisen aineksen, alkaa komposti jäähtyä ja saavuttaa lopulta jälleen ympäristön lämpötilan. Tätä vaihetta kutsutaan stabiloitumisvaiheeksi. Kompostimassan pH laskee lähelle neutraalia ammoniakin vapauduttua. (Halinen & Tontti, 2004, 12.)

Viimeisenä ja pisimpänä vaiheena on jälkikypsytysvaihe, jolloin mikrobit toiminta on vähäistä. Kypsytysvaiheeseen kuuluu oleellisena osana mikrobien nitrifikaatio eli mikrobit muuttavat ammoniumtypen nitraattitypeksi, joka on kasveille käyttökelpoinen typen lähde. Kypsän kompostimassan pH on yleensä 7 - 8. Hiilidioksidin tuotto ja hapenkulutus vähenevät huomattavasti, joka kertoo heikentyneestä mikrobiaktiivisuudesta. Kypsytysvaiheessa muodostuu humusaineita kun ligniinin, pitkäketjuisten hiilihydraattien ja kuolleen mikrobimassan proteiinien välillä tapahtuu kemiallisia reaktioita. (Albers ym., 2003, 12 - 13; Itävaara ym., 2006, 7 - 8; Halinen & Tontti, 2004, 12 - 13.)



Kuvio 1. Kompostointiprosessin vaiheet. Mukailtu lähteistä Halinen & Tontti (2004), Itävaara ym. (2006) ja Albers ym. (2003).

2.2.2 Hygienisoituminen

Hygienisoituminen tarkoittaa patogeenisten eli haitallisten mikrobien vähenemistä. Mikrobien tulisi vähentyä tasolle, joka ei aiheuta eläimille, kasveille tai ihmisille haittaa. Kompostointiprosessissa hygienisoituminen tapahtuu termofiilivaiheen aikana lämpötilan ollessa korkeimmillaan. Korkea lämpötila tuhoaa suurimman osan patogeeneistä. Lämpötilan muutokset, eri mikrobien keskinäinen kilpailu sekä joidenkin mikrobien tuottamat antibioottiset aineet aiheuttavat kompostissa epäsuotuisat olosuhteet patogeeneille ja ne alkavat tuhoutua. (Halinen & Tontti, 2004, 14.)

Hygienisoitumisen astetta voidaan seurata indikaattorimikrobien avulla. Havainnollisinta indikaattorimikrobia ja mikrobiologista menetelmää ei ole pystytty määrittämään, mutta kirjallisuuden perusteella suolistoperäisinä indikaattorimikrobeina on käytetty fekaalisia koliformeja, enterokokkeja, enterobakteereja ja fekaalisia streptokokkeja sekä joitain viruksia. Hygienisoitumisasteen selvittäminen perustuu indikaattorimikrobin määrän tai vähenemisen selvittämiseen. (Halinen & Tontti, 2004, 14.) Hygienisoitumistuloksia on esitetty taulukossa 1.

Indikaattorilajiksi kannattaa valita mikrobi, jonka esiintyminen kompostoitavassa materiaalissa on erittäin todennäköistä. Sen laskenta- ja eristämistekniikan tulee olla varma, luotettava ja yksinkertainen. (Suomalainen, 2004, 45).

Hygienisoituminen on tehokasta, jos kompostin lämpötila on yli 55 °C kolmen perättäisen päivän ajan. Jos lämpötila nousee yli 60 °C:n, mikrobipopulaation monipuolisuus vähenee ja mahdollisesti hidastaa orgaanisen aineksen hajoamista. EU:n sivutuoteasetus (EY N:o 1069/2009, EU

142/2011) vaatii massan lämpötilan nostamista 70 °C:een tunnin ajaksi, jotta komposti on hygienisoitunut. Alemmatkin lämpötilat ovat riittäviä, jos viipymäaika on pidempi.

Massan hygienisoitumiseen ei riitä pelkästään korkea lämpötila, vaan hygienisoitumiseen vaikuttavat myös monet muut tekijät. Korkea lämpötila on kuitenkin tärkein tekijä massan hygienisoitumisessa. Massan kosteus ja termofiilivaiheen kesto vaikuttavat patogeenien tuhoutumiseen. Myös jotkin yhdisteet, joiden läsnäolo riippuu käytetystä raaka-aineesta, vaikuttavat hygienisoitumisasteeseen. Esimerkiksi ammoniakilla on joitakin vaikutuksia eri patogeeneihin. Kompostimassassa olevat mikrobikannat vaikuttavat osaltaan patogeenien tuhoutumiseen. Patogeeniset mikrobit eivät pärjää kilpailussa niin hyvin toisten mikrobien kanssa ja osa mikrobeista tuottaa myös muille mikrobeille haitallisia aineita. Kompostimassan sisältämät mikrobit riippuvat käytetystä raaka-aineesta. Patogeenit tuhoutuvat suurimmaksi osaksi termofiilivaiheen aikana, mutta ne saattavat alkaa lisääntyä uudestaan jälkikypsäytymisen aikana. (Fuchs, 2010, 6 - 7.)

Taulukossa 1 on esitetty hygienisoitumistuloksia erilaisista kompostointiprosesseista.

Raaka-aine	Indikaattorimikrobi(t)	Mikrobipitoisuus alussa	Mikrobipitoisuus lopussa	Kompostointiaika	Kompostointimenetelmä
Sianlanta ja puru ¹	Fekaaliset koliformit	5,00 log ₁₀ (MPN/g)	2,27 log ₁₀ (MPN/g)	91 vrk	Kasakompostointi
Separoitu sianlanta, sahanpuru, silputtu kasvijäte ja ohrasilppu ²	<i>E. coli</i>	5,33 log ₁₀ (pmy/g)	Alle määritysrajan (100 pmy/g)	56 vrk	Rumpukompostointi
	Koliformit	5,38 log ₁₀ (pmy/g)	3,66 log ₁₀ (pmy/g)		
Yhdyskuntajäte ³	Fekaaliset koliformit	8,96 log ₁₀ (pmy/g ka)	< 2 log ₁₀ (pmy/g ka)	27 vrk	Aumakompostointi (ilmastus)
Jätevesiliete ⁴	<i>E. coli</i>	2,68 log ₁₀ (pmy/g)	< 2 log ₁₀ (pmy/g)	Aloitus 10 viikkoa, lopputuote 30 viikkoa	Aumakompostointi
	Enterokokit	4,7 log ₁₀ (pmy/g)	2,31 log ₁₀ (pmy/g)		
Lehmänlanta ⁵	Fekaaliset koliformit	6,6 log ₁₀ (MPN/g)	2,5 log ₁₀ (MPN/g)	70 vrk	Aumakompostointi

Taulukko 1. Hygienisoitumistuloksia raaka-aineen, käytetyn indikaattorimikrobin, mikrobipitoisuuksien, kompostointiajan ja kompostointimenetelmän suhteen eriteltynä. (Lähteet: ¹ Tiquia, Tam & Hodgkiss, 1998; ² Mc Carthy, Lawlor, Coffey, Nolan, Gutierrez & Gardiner, 2011; ³ Déportes, Benoit-Guyod, Zmirou. & Bouvier, 1998; ⁴ Rimhanen-Finne, Vuorinen, Marmo, Malmberg, & Hänninen, 2004; ⁵ Bonhotal, Schwarz & Stehman, 2011.)

2.2.2.1. Indikaattorimikrobin valinta

Indikaattorimikrobiksi kannattaa valita mikrobi, jonka esiintyminen näytteenä on todennäköistä. Mikrobin eristämisen- ja laskentatekniikkojen kannattaa myös olla varmoja, yksinkertaisia ja luotettavia. Esimerkiksi *Escherichia coli* -bakteerille on laissa määritelty erilaisia raja-arvoja riippuen soveltamisalasta (komposteille, joita käytetään lannoitteena 1 000 pmy/g (MMM 12/2007, liite IV)). Akkreditoitujen laboratoriot suorittavat tutkimuksia lannoitevalmisteille, joista määritetään muun muassa *E. coli* -bakteeria. Osa Eviran hyväksymistä laboratorioista (Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy ja Jyväskylän kaupunki (Ympäristötoimen laboratorio)) on akkreditoitunut *E. coli* määrittämismenetelmän kompostille ja kompostoidulle lietteelle (Evira, 2011). *E. coli* kuuluu koliformeihin, joihin kuuluvat myös muut fekaaliset koliformit ja enterokokit (Harrison, 2004, 10).

Kirjallisuuden perusteella suolistoperäisinä indikaattorimikrobeina on käytetty fekaalisia koliformeja, enterokokkeja, enterobakteereja ja fekaalisia streptokokkeja sekä joitain viruksia (Halinen & Tontti, 2004, 14). *E. coli* on käytetty indikaattorimikrobeina useissa julkaisuissa ilmentämään kompostin hygienisoitumista (Schwarz ym., n.d.; Rimhanen-Finne, Vuorinen, Marmo, Malmberg, & Hänninen, 2004; Brochier, Gourland, Kallassy, Poitrenaud & Houot, 2011; Mc Carthy, Lawlor, Coffey, Nolan, Gutierrez & Gardiner, 2011.) Muun muassa MTT:n julkaisussa (Halinen, Palojärvi, Karinen, Heinonen-Tanski, & Tontti, 2006) tutkittiin *E. coli* esiintymistä erilaisia raaka-aineita sisältävissä komposteissa, joista osan raaka-aineena käytettiin lantaa. Veijalaisen, Juntusen, Liljan, Heinonen-Tanskin ja Terwon (2007) julkaisussa tutkittiin hevosen lannan tai virtsan lisäämisen vaikutuksia kompostointiprosessiin. Hygieniaindikaattorina käytettiin myös fekaalisia koliformeja muiden indikaattorien kanssa.

Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista määritetään *E. coli* raja-arvoksi alle 1000 pmy/g (MMM 12/2007, liite IV). Lannoitevalmistelaki ei kuitenkaan koske oman tilan kuivikekäyttöön tarkoitettua kompostoitua lantaa, mutta se antaa hyvän vertailulähtökohdan. Laki koskee lähinnä markkinoille saatettavia lannoitteita (LL 539/2006 2§). Kuivikkeen tulee kuitenkin olla mikrobiologisesti puhdasta, jotta vältetään eläimien sairastuminen.

Schwarz ym. (n.d.) julkaisun mukaan yleisenä sääntönä maatalousyrittäjien, eläinlääkärien ja maatalousneuvojien kesken kuivikkeen mikrobiologisen laadun suhteen on pidetty sitä, että koliformien määrän tulisi jäädä alle 1 000 000 pmy/g kuivikkeen märkäpainosta. Julkaisun mukaan koliformit ovat yksi suurimmista utaretulehduksen aiheuttajista, minkä takia niiden tutkiminen lehmänlannasta on kannattavaa.

2.2.3 Kompostointitekniikoita

Kompostointiprosessi voidaan suorittaa joko jatkuvatoimisena tai panosprosessina. Jatkuvatoimisessa kompostissa olosuhteet pyritään säätämään mahdollisimman tasaisiksi, jotta kompostointiprosessiin muodostuu muuttumaton eliöyhteisö. Panosprosessissa taas olosuhteet muuttuvat koko pro-

sessin ajan, joten muuttumatonta eliöyhteisöä ei pääse muodostumaan. (Paatero ym., 1984, 22.)

Kompostointitekniikat voidaan jakaa kahteen eri menetelmään: auma- tai kasakomposti- ja reaktorikompostitekniikkaan. Auma- ja kasakompostointi toteutetaan avoimena ja reaktorikompostointi suljettuna kompostointina. Kompostointi jaetaan myös kompostoitavien ainemäärien perusteella pienkompostointiin ja suuressa mittakaavassa suoritettuun kompostointiin. (Havukainen, 2009, 49; Simpanen, 2006, 20 - 21.)

Auma- ja kasakompostoinnissa kompostointi tapahtuu aumoittain tai kasoittain. Kasat ovat katkaistun kartion tai pyramidin muotoisia ja aumat ovat kasojen pidennettyjä harjumaisia versioita. Vanhin ja samalla yleisin kompostointitekniikka on ulkoilmassa toteutettu auma- tai kasakompostointi. Aumakompostoinnin ilmastus tapahtuu joko kääntelemällä kompostoitavaa massaa tai asentamalla auman pohjalle ilmastusputkisto. (Havukainen, 2009, 49; Simpanen, 2006, 20 - 21.)

Reaktorikompostitekniikoihin kuuluvat tunneli-, rumpu-, kaukalo-, siilo- ja tornikompostointi. Kompostointi tapahtuu suljetussa kontissa tai säiliössä. Reaktorikompostoreiden tarkoituksena on tilan säästäminen ja kompostointiprosessin nopeuttaminen. (Havukainen, 2009, 49 - 50.)

Tunnelikompostointi on panostoiminen kompostointimenetelmä, jossa kompostointi tapahtuu suljetussa tilassa ja säädetyissä olosuhteissa. Ilmastus tapahtuu koneellisesti joko imemällä ilmaa massan läpi tai puhaltamalla. Kompostoituminen on nopeampaa ja tasaisempaa auma- ja kasakompostointiin verrattuna johtuen säädetyistä olosuhteista. (Havukainen, 2009, 51.)

Rumpukompostoinnissa rumpu pyörii ja liikuttaa samalla kompostoitavaa massaa, minkä ansioista voidaan varmistaa tasainen ilmastus ja hienontaa massaa kitkan avulla. Rumpureaktoreiden koot vaihtelevat esimerkiksi kunnallisessa kiinteiden jätteiden käsittelylaitoksissa läpimitaltaan 1 - 3 m ja pituudeltaan 2 - 12 m. (Havukainen, 2009, 51.)

Kaukalokompostointi on auma- ja reaktorikompostoinnin kombinaatio. Kompostoituminen tapahtuu kaukaloissa ja kääntö yleensä automaattisesti. Ilmastus tapahtuu kaukalon pohjasta puhaltimella, jolla voidaan samalla säätää kompostointimassan lämpötilaa. (Havukainen, 2009, 52.)

Siilokompostoinnissa kompostimassa syötetään reaktoriin yläpäästä, josta se valuu vähitellen painovoiman vaikutuksesta alaspäin. Reaktorin pohjalta voidaan poistaa valmis komposti. (Havukainen, 2009, 52.)

Kompostointi tornireaktoreissa tapahtuu erillisissä kerroksissa, jolloin alhaalta saadaan valmista kompostia ja ylhäällä on raaka kompostoitava massa. Tornireaktoreiden etuna on jokaisen kerroksen yksilöllinen toimintaedellytysten vaihtelu. (Havukainen, 2009, 51 - 52.)

Kompostointia käytetään esimerkiksi maataloudessa muodostuvien lantojen käsittelyssä. Lietelantaa voidaan kompostoida ilmastamalla tai sekoittamalla siihen kuivikkeita, jotta saadaan kuivalantaa. Kuivalantaa taas voidaan kompostoida kasoissa tai aumoissa sekä kompostireaktoreissa. Kompostoinnin tarkoituksena on saada lantaan sitoutuneet ravinteet vapautumaan sekä vähentämään lannan määrää. (Havukainen, 2009, 53.)

2.2.4 Kompostin käyttö

Kompostien käyttöarvo, laatu ja edullisin käyttökniikka vaihtelevat suuresti, mikä kannattaa ottaa huomioon kompostin käyttöä suunniteltaessa. Laatu riippuu lähinnä raaka-aineista ja kompostin kypsyydestä. (Paatero ym., 1984, 213.)

Kompostia käytetään yleensä joko maanparannusaineena tai lannoitteena. Lannoitteena kannattaa käyttää kompostia, jonka ravinnepitoisuus on suuri, ravinteet ovat helppoliukoisessa muodossa ja maan ravinnepitoisuus on alhainen sekä kasvua rajoittava tekijä. Maanparannusaineeksi komposti luokitellaan kun kompostia käytetään muuhun kuin ravitsemistarkoitukseen. Maanparannusaineita tarvitaan silloin, kun maan rakenne on huono tai sen kaasunvaihto-olot ovat kasveille epäedullisia. (Paatero ym., 1984, 213 - 214.)

Kompostin raaka-aineet ja kompostointitekniikka vaikuttavat oleellisesti kompostin ravinnepitoisuuteen ja ravinteiden liukoisuuteen. Kompostin ravinnepitoisuus on sitä suurempi, mitä ravinteikkaampia raaka-aineet ovat. Ravinnepitoisimpia komposteja ovat esimerkiksi teurasjäte-, yhdyskuntajäte- ja lantakomposti. Kompostointitekniikka vaikuttaa lähinnä ravinnehäviöiden suuruuteen ja kompostin kypsyyteen. Nopea kompostoituminen ja siihen liittyvä korkea lämpötila sekä kompostin voimakas ilmastus nostavat ravinnehäviöitä. (Paatero ym., 1984, 214.)

Myös kompostin maanparannusvaikutus riippuu käytetyistä raaka-aineista ja kompostointitekniikasta. Jos kompostoitava aine on hitaasti lahoavaa tai kompostoinnin pyrkimyksenä on eloperäisen aineen mahdollisimman täydellinen lahottaminen, komposti vaikuttaa lähinnä vain fysikaalisin ja fysikaalis-kemiallisin tavoin kuten pienentäen maan tilavuuspainoa ja sitomalla ravinteita ja vettä. Jos kompostoitava aine taas on suhteellisen helposti hajoavaa eikä lahoamisen anneta edetä aivan loppuun, komposti on vaikutukseltaan monipuolisempaa. Tällainen komposti vaikuttaa voimakkaasti maan eliöiden toimintaan vilkastuttaen sitä, mistä on monia hyödyllisiä vaikutuksia maan rakenteelle. (Paatero ym., 1984, 217.)

Kompostit saattavat sisältää kasveille tai eläimille haitallisia yhdisteitä ja ominaisuuksia. Haittatekijöiden määrä riippuu käytetystä raaka-aineesta sekä kompostointitekniikasta. Haitallisia aineita sisältävät kompostit tulevat käyttöä johonkin muuhun kuin syötävien kasvien lannoitukseen. Raaka-aineiden sisältämät luonnossa hajoamattomat tai hitaasti hajoavat myrkylliset yhdisteet eivät hajoa kompostoinnissa vaan saattavat jopa rikastua eloperäisen aineen hajotessa. Myös liian raaka komposti saattaa aiheuttaa haittaa kasveille johtuen muun muassa raakan kompostimassan aiheutta-

masta hapen puutteesta ja myrkyllisten yhdisteiden kuten ammoniakkin muodostumiseen maassa. Raa'an kompostimassan käyttö ei kuitenkaan aina aiheuta haittavaikutuksia etenkin, jos kompostin levitys- ja käyttöajan kohta ovat oikeita. (Paatero ym., 1984, 217 - 218.)

Sekä lannoitteena että maanparannusaineena käytetty komposti luokitellaan lain mukaan lannoitevalmisteeksi. Lannoitevalmisteille on olemassa oma lainsäädäntönsä, jossa määritellään esimerkiksi raja-arvot haitallisille metalleille ja mikrobeille (Lannoitevalmistelaki 539/2006, MMMa 12/2007, liite IV). Lainsäädäntö koskee lannoitevalmisteiden ja joissain tapauksissa niiden raaka-aineiden valmistusta, markkinoille saattamista, käyttöä ja kuljettamista sekä joissain tapauksissa myös valmistusta omaan käyttöön (Lannoitevalmistelaki 539/2006).

2.2.4.1. Kompostoidun lehmänlannan kuivikekäyttö

Kompostoitua ja kuivattua lehmänlantaa voidaan käyttää kuivikkeena. Tavallisten kuivikkeiden käyttö on kallista ja osa maatalouksista tuottaa lantaa yli oman lannoitustarpeensa, jolloin lantaa varastoidaan kasoittain ja ravinteita saattaa päästä maaperään. Huolenaiheena lannan kuivikekäytön suhteen on kuitenkin kompostoidun lehmänlannan mikrobiologiset ja fyysikaaliset ominaisuudet, terveysvaikutukset sekä käyttökustannukset. Osa maatalouksista kuitenkin käyttää kuivattua lehmänlantaa kuivikkeena onnistuneesti. (Schwarz ym., n.d.)

Schwarz ym. (n.d.) julkaisussa tutkittiin kuutta eri maatilaa, joissa käytettiin kuivikkeena joko kompostoitua tai mädätettyä lehmänlantaa. Jokaisella tilalla lanta käsiteltiin eri tavalla. Viisi tilaa käytti lietelannan esikäsitteilyyn separointia. Yhdellä tilalla lietelanta mädätettiin ennen separointia, minkä jälkeen se levitettiin ohuiksi patjoiksi. Kahdella tilalla oli käytössä rumpukompostori, jonka viipymäaikana käytettiin 24 tuntia tai kolmea vuorokautta. Rumpukompostorista saatava lanta kasattiin vielä vuorokaudeksi, minkä jälkeen se levitettiin ohueksi kerrokseksi betonikarsinoihin. Kolme tilaa käytti kompostointimenetelmänä joko kasa- tai aumakompostointia 3 - 10 päivän ajan, jonka jälkeen lanta levitettiin joko patjaksi tai lisättiin suoraan karsinoihin vanhan kuivikkeen päälle. Jos lanta käytettiin sellaisenaan heti kompostoinnin jälkeen tai ilman kompostointia, tilalla oli käytössä ns. patjakuivikeratkaisu. (Schwarz ym., n.d.) Patjakuivikeratkaisu tarkoittaa sitä, että karsinan kuivikepatjan alinta kerrosta ei poisteta karsinoita putsatessa, vaan patjan pinnalta poistetaan vain sonta ja märkien tai likaisten kohtien päälle lisätään tuoretta kuiviketta.

Julkaisussa (Schwarz ym., n.d.) keskityttiin *E. colin*, *Klebsiella*- ja *Streptococcus* -sukujen bakteerien tarkasteluun, koska ne voivat aiheuttaa lehmille mm. utaretulehduksen. Julkaisussa tarkasteltiin käytettyjen ja käyttämättömien kuivikkeiden mikrobiologisia eroja edellä mainittujen mikrobin osalta. Tulosten mukaan käyttämättömän kuivikkeen mikrobiologinen puhtaus ei näyttänyt vaikuttavan käytetyn kuivikkeen mikrobiologisiin ominaisuuksiin, joten mikrobipitoisuudet käytetyssä kuivikkeessa olivat todennäköisesti peräisin tuoreista jätöksistä. Mikrobipitoisuuksiin vaikutti myös se, kuinka hyvin karsinoita putsattiin. Joissain tapauksissa käyttä-

mättömän kuivikkeen ollessa mikrobiologisesti todella puhdasta, käytetyn kuivikkeen mikrobipitoisuudet olivat tällöin korkeammat kuin vähemmän puhtailla käyttämättömillä kuivikkeilla. Tämä johtuu luultavasti siitä, että tulevilla mikrobipopulaatiolla ei ollut kilpailua ennestään kuivikkeessa olevien mikrobipopulaatioiden kanssa.

Julkaisun (Schwarz ym., n.d.) mukaan lannan käyttö kuivikkeena tuottaa taloudellista etua ilman haitallisia vaikutuksia eläinten terveyteen ja mikrobipitoisuudet käytetyssä kuivikkeessa eivät yksistään aiheuta lehmille terveyshaittoja vaan kuivikkeen käsittely on tärkeämpää kuin patogeeni-analysointi. Huomion kiinnittäminen karsinoiden puhtauteen ulosteiden ja virtsan osalta on julkaisun mukaan tärkeämpää kuin huomion kiinnittäminen käytettävään kuivikkeeseen.

Lannan separointilaitteistoja valmistavan Vincent Corporationin (2001) mukaan lantaa ei tarvitsisi kompostoida ennen kuivikekäyttöä. Kompostointia suositeltiin, jotta separoidusta kiintoainejakeesta saataisiin kosteus poistumaan paremmin ja jotta korkea lämpötila inhiboisi patogeeneja. Julkaisun mukaan kompostointia ei kuitenkaan pidetä enää ehdottomana vaatimuksena. Jos kompostoituu lantaan jää vain vähän bakteereja, ne voivat lisääntyä eksponentiaalisesti, jolloin karsinaan laitetaan kuiviketta, jolla on yhtä suuri mikrobipitoisuus kuin alkuperäisellä lannalla. Tästä huolimatta utaretulehdusten esiintyvyys on ollut alhaista tiloilla, joissa käytetään kuivikkeena kompostoitua lehmänlantaa. On myös huomattu, että esimerkiksi Floridassa lehmät rypevät lammikoissa pitääkseen itsensä viileänä, jolloin lammikoissa on suuria määriä lantaa ja silti utaretulehduksia ei esiinny tavanomaista enempää.

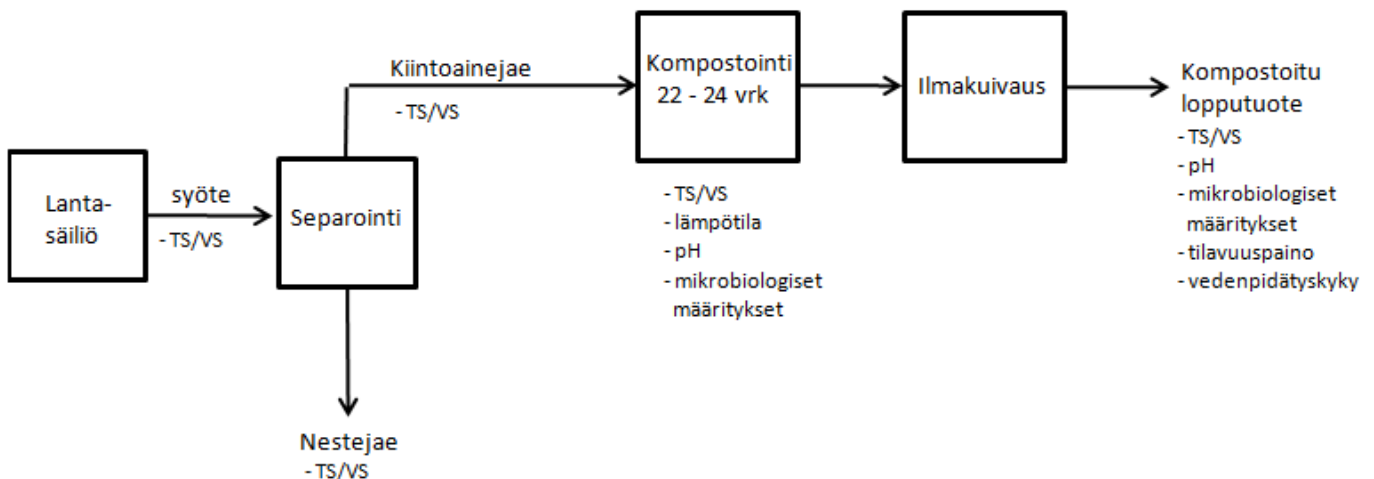
Kompostoidun tai kompostoimattoman lehmänlannan käyttöä kuivikkeena on siis kokeiltu varsinkin Yhdysvalloissa. Lehmänlannan käyttäminen kuivikkeena vaatii ainakin separoinnin ja menetelmien kehittyessä lannan kuivikekäyttö tulee oletettavasti tulevaisuudessa lisääntymään.

3 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Opinnäytetyö suoritettiin tammelalaisen maidontuotantotilan ja Hämeen ammattikorkeakoulun yhteistyöprojektina. Tarkoituksena oli selvittää lehmän lietelannasta tuotetun kuivikkeen ominaisuuksia sekä separoinnin ja kompostoinnin aikana tapahtuvia muutoksia. Pääpaino työssä oli kompostoinnin aikana tapahtuvan hygienisoitumisen tarkastelussa. Opinnäytetyön tärkein tavoite oli osoittaa lehmänlannan hygienisoituminen kompostoinnin aikana.

Koko prosessiin kuului monta vaihetta. Ensin lietelanta separoitiin kahdella eri seulakoolla (0,75 mm ja 0,5 mm), jonka jälkeen saatu kiintoainejae kompostoitiin 24 - 26 vuorokautta riippuen käytetystä seulakoosta. Kompostoinnin jälkeen kompostoitua lanta levitettiin ilmakeivattamista varten sikalan lattialle. Lämpötila ilmakeivauksen ajan oli sama kuin ympäristön lämpötila (6 - (- 11) °C). Lopputuotteena saatiin kompostoitua ja ilmakeivattua lehmänlantaa, jonka ominaisuuksia verrattiin tilalla käytettyyn kuivikkeeseen, kutterinpuruun. Kokonaisuudessaan prosessi kesti kompostoinnin aloitusajankohdasta riippuen 50 - 52 vuorokautta.

Prosessin aikana tehtiin erilaisia analyyseja, joiden avulla pyrittiin selvittämään kuiva-ainepitoisuuden ja orgaanisen aineen määrän muutoksia, kompostoinnin aikaista pH:n muutosta ja lämpötilan kehitystä, mikrobiologisia ominaisuuksia sekä lopputuotteen soveltuvuutta kuivikkeeksi. Koko prosessi ja tehdyt analyysit on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Koko työn kuvaus ja sen vaiheet sekä tehdyt analyysit.

3.1 Lietelannan separointi

Lehmän lietelantaa haettiin traktorin lietesäiliöllä tilan lietealtaasta. Altaassa olevaa lietettä sekoitettiin ensin traktorin avulla, jotta altaan pohjalta laskeutunut kiintoainekasaataisiin liikkeelle. Separointi tapahtui muutama kilometrin päässä tilalta tyhjennetyssä ja puhdistetussa sikalassa.

3.1.1 Separointijärjestelyt ja näytteenotto

Lietettä separoitiin käyttämällä Sepcom[®]:n 015 -separaattoria, joka on suunniteltu juuri lietelannan separointiin. Separoinnissa käytettiin kahta eri seulakokoa: 0,5 mm ja 0,75 mm.

Traktorin lietesäiliöstä pumpattiin lietettä pienempään säiliöön, johon oli yhdistetty toinen samankokoinen säiliö sekoittumisen varmistamiseksi (kuva 2). Ensimmäiseen säiliöön johdettiin ylivuotoputkea pitkin ylimääräinen syöte, jota separaattori ei pystynyt käsittelemään. Toisesta säiliöstä lietettä pumpattiin edelleen separaattorille, josta erotettu kiintoainekerätkänttiin kolmanteen säiliöön (kuva 3). Erotettu nestejake johdettiin neljänteen säiliöön, josta se palautettiin sikalan suureen lietesäiliöön.

Separoimattomasta lietteestä näytteet otettiin osanäytteinä sänkoon, josta näytteet otettiin näytepurkkeihin. Näytepurkkeja oli kaksi, joista sekoittamalla otettiin vielä osanäytteet pienempiin purkkeihin. Separoidusta nestejakeesta ja kiintoaineesta otettiin näytteet kuten separoimattomasta lietteestä.



Kuva 2. Lietelannan pumppaaminen säiliöihin, joista se pumpattiin edelleen separaattorille. Kuvaan on merkitty ylivuotoputki ja syöteputki. Ylimääräinen syöte palautettiin säiliöihin ylivuotoputkea pitkin.



Kuva 3. Separointiprosessi. Kuvaan on merkitty ylivuoto- ja syöteputki, kiintoaine- ja nestejäte sekä separaattori.

Erotettu kiintoainejäte jaettiin kolmeen yhtä suureen kasaan kompostointia varten siten, että ensimmäiseksi jokaiseen kasaan lisättiin noin yksi kolmasosa koko tilavuudesta, sen jälkeen kaksi kolmasosaa ja niin edelleen. Yhden kasan tilavuus oli noin 2 m³.

Separointi saatiin suoritettua kahden päivän aikana. Ensimmäisenä päivänä separaattorissa käytettiin 0,75 mm:n seulaa ja toisena päivänä käytettiin 0,5 mm:n seulaa. 0,75 mm:n seulalla separoidun lannan kompostointi aloitettiin siis kaksi päivää ennen 0,5 mm:n seulalla separoidun lannan kompostoimista. 0,5 mm:n seulalla separoidut lantakasat jäivät pienemmiksi kuin 0,75 mm:n seulalla separoidut kasat.

3.1.2 Separoinnin vaikutukset

Separoinnin vaikutuksia tutkittiin tarkastelemalla separoidun lannan hajua ja rakennetta. Lietelannan ja nestefaasin haju oli selvästi vahvempi kuin kiintoainefaasin. 0,5 mm:n seulalla separoitu kiintoainejakeen rakenne oli erotettavissa 0,75 mm:n seulalla separoidun kiintoainejakeen rakenteesta: 0,5 mm kiintoainejakeen partikkelikoko oli pienempi ja materiaali hienojakoisempaa.

3.2 Separoidun lannan kompostointi

Lannan kompostoinnin tarkoituksena oli saada massa hygienisoitumaan, jonka jälkeen kompostimassat levitettiin kosteuden lisähaihduttamista varten. Kompostointi lopetettiin termofiilivaiheen jälkeen eli kun lämpötila laski alle 50 °C:n.

0,75 mm:n seulalla seulotut kolme rinnakkaiskasaa nimettiin kasoiksi 1 - 3 ja 0,5 mm:n seulalla seulotut kolme rinnakkaiskasaa kasoiksi 4 - 6 (kuva 4).



Kuva 4. Kasat 1 - 3 ja kasojen 4 - 6 alle tulevat eristelevyt.

3.2.1 Kompostointimenetelmä

Separoinnin jälkeen lanta kompostoitii kasoittain, eli kompostointimenetelmänä käytettiin kasakompostointia. Kasojen alle laitettiin eristelevyt, joiden tarkoituksena oli ehkäistä kasojen jäätymistä ja ylläpitää mahdollisimman korkeaa lämpötilaa. Kasoja 1 - 3 kompostoitii 26 vuorokautta ja kasoja 4 - 6 24 vuorokautta.

Kompostointi ajoittui loppuvuodelle ja ulkoilman lämpötila oli selvästi pakkasen puolella. Ulkoilman lämpötila vaikuttaa kompostoinnin edistymiseen jos komposti ei saavuta tarpeeksi korkeaa lämpötilaa, mikä voi olla ongelma etenkin pienissä kompostikasoissa.

Kompostoinnin jälkeen kompostimassa levitettiin noin viiden senttimetrin paksuiseksi patjaksi ilma-kuivausta varten. Alhaisen ympäristön lämpötilan (alimmillaan alle -10 °C) takia kompostipatjat jäätivät nopeasti eikä huomattavaa haihtumista tapahtunut.

3.2.2 Kompostoinnin edistymisen seuranta

Kompostoitumisen edistymistä seurattiin muun muassa lämpötilaseurannan avulla käyttäen nestelämpömittaria. Lämpötiloja mitattiin 13 - 15 kertaa kompostointiperiodin (24 - 26 vrk) aikana. Kun lämpötila laski 50 °C :een tai alle, kasat pöyhittiin kääntelemällä massaa. Pöyhinnän tarkoituksena on antaa mikrobeille lisää hajotettavaa materiaalia sekä varmistaa

hapensaanti, jolloin lämpötilan pitäisi nousta jälleen kiihtyneen mikrobiaktiivisuuden takia.

Muina kompostoinnin edistymisen seurantaparametreina käytettiin pH:n kehitystä ja mikrobiologisen tilan muuttumista.

3.2.3 Näytteenotto

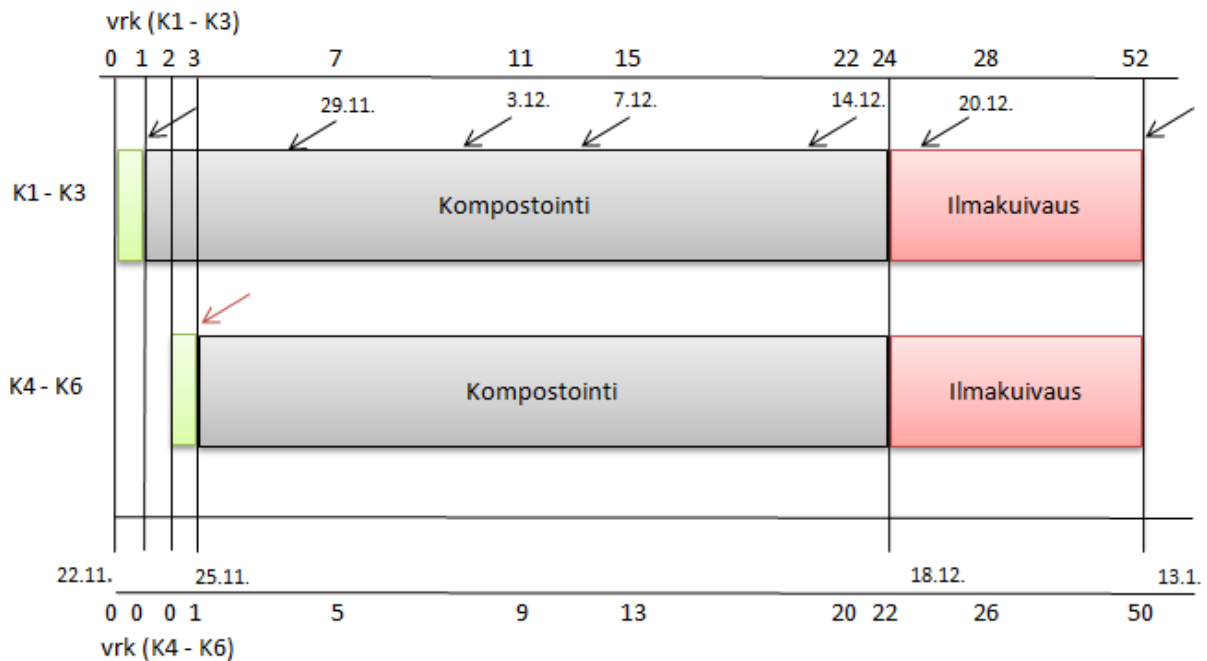
Näytteitä otettiin kompostikasoista yhteensä seitsemän kertaa 24 - 26 vuorokauden kompostointiprosessin aikana. Kompostinäytteidenotossa noudatettiin standardia SFS-EN 12579. Näytteenottokehtien lukumäärä määräytyy kasojen tilavuuden mukaan seuraavalla kaavalla:

$$n_{sp} = 0,5 * (V^{1/2}), \text{ missä } V = \text{kasan tilavuus.}$$

Kompostikasojen koko oli 2 m³, jolloin tulokseksi saatiin 0,7 eli yksi näytteenottokehta. Standardissa kuitenkin määritetään näytteenottokehtien alarajaksi 12, joten näytteenottokehtia oli yhteensä 12.

Kompostikasojen näytteenottovälineinä käytettiin sankoja, näytteenottokauhaa ja minigrip-pusseja. Sangot ja näytteenottokauha pestiin, huuhdeltiin ja desinfioitiin ennen näytteenottoa. Kauhalla otettiin näyte kasan keskeltä satunnaisesti yhteensä 12 eri kohdasta ja koottiin sankoon. Osanäytteet sekoitettiin ja tästä kokoomanäytteestä otettiin seitsemän näytettä minigrip-pusseihin, joista kuusi oli mikrobiologisia määrittämiä varten ja yksi kuiva-ainepitoisuuden määrittämiä varten. Mikrobiologisia määrittämiä varten olevat näytteet pakastettiin heti näytteenoton jälkeen ja kuiva-ainepitoisuusmäärittäykset tehtiin sulasta näytteestä mahdollisimman pian.

Näytteet otettiin lähtötilanteesta ja viisi näytettä otettiin kompostoinnin aikana. Kompostoinnin jälkeen kasat levitettiin, jonka jälkeen näytteet otettiin vielä viimeisen kerran lopputilanteen selvittämiseksi. Lopuksi otettiin vielä näyte koko massasta, kun kaikki kasat oli yhdistetty. Näytteet on nimetty koko prosessin aloittamisesta kuluneiden vuorokausien mukaan. Näytteenottoa ja koko prosessia on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5. Kompostointityön suorituksen vaiheet ja näytteenotot sekä vuorokaudet aloituksesta. Vihreä palkki kuvaa separointia, sininen kompostointia ja punainen ilmakeivausta. Näytteenotot on merkitty kuvaan nuolilla. Punainen nuoli K4 - K6 -palkissa tarkoittaa, että 25.11. otettiin näytteet ainoastaan kasoista 4 - 6 (lähtötilanne).

3.3 Määritykset

3.3.1 Kuiva-aine, orgaaninen aine ja pH

Kuiva-ainepitoisuus määritettiin kaikista otetuista näytteistä standardia SFS 3008 mukailleen. Jokaisesta näytteestä tehtiin kolme rinnakkaisnäytettä. Kaikista kolmesta tuloksesta laskettiin keskiarvot ja hajonnat sekä poistettiin huomattavasti poikkeavat rinnakkaistulokset.

TS-pitoisuus (TS = Total Solids) määritetään haihduttamalla näytteestä kaikki vesi pois 105 °C lämpötilassa noin 20 - 22 tunnin ajan. TS-pitoisuus saadaan jakamalla kuivan näytteen massa määrän näytteen massalla ja muuttamalla luku prosenteiksi.

VS-pitoisuus (VS = Volatile Solids) määritetään pitämällä näytettä korkeassa lämpötilassa (550 °C) kahden tunnin ajan. VS-pitoisuus saadaan vähentämällä kuivan näytteen massasta tuhkan massa ja jakamalla erotus määrän näytteen massalla. Tulos muutetaan prosenteiksi. Molemmat määritykset perustuvat siis punnitustuloksiin eli näytteiden massan muutoksiin.

pH mitattiin heti näytteenoton jälkeen pakastetuista näytteistä punnitsemalla sulatettua näytettä 5 grammaa ja liottamalla se 45 ml ionivaihdettua vettä. Näytteiden annettiin seistä noin 1 - 3 tuntia, jonka jälkeen ne sekoitettiin ja pH mitattiin Metrohm:n 744 pH Meter tai Hanna -pH-mittarilla.

3.3.2 Indikaattorimikrobin valinta

Indikaattorimikrobiksi valikoitui *Escherichia coli*, jota käytetään yleisesti ilmentämään hygienisoitumista. Toiseksi indikaattoriksi valittiin koliformit, jotka ovat useimmiten suolistoperäisiä ja tuhoutuvat pastörintia vastaavissa lämpökäsittelyissä. Koliformit ja *E. coli* ovat tämän työn kannalta hyviä indikaattoreita, koska ne saattavat aiheuttaa utaretulehdusta, minkä takia niiden vähenemistä kompostoinnin aikana on kannattavaa tutkia.

3.3.3 Mikrobiologiset menetelmät

Mikrobiologisina määrittämisinä käytettiin NMKL 125/2005 Thermotolerant coliform bacteria and *Escherichia coli*, Enumeration in food and feed -standardimenetelmää, sekä kahta kromogeenista tuotetta, joilla voitiin määrittää samanaikaisesti koliformit ja *E. coli*: Merck:n Chromocult® Coliformen Agar ES -kasvatusalusta ja 3M™ Petrifilm™ E. coli/Coliform Count Plate -petrifilmit.

Kromogeenisen kasvatusalustan ja petrifilmien käytössä noudatettiin valmistajan ohjeita. Kromogeenisten alustojen avulla pystytään määrittämään koliformisten bakteerien sekä *E. coli* määrät näytteessä. Kromogeenisten alustojen toiminta perustuu valittuihin substraatteihin, jotka edistävät *E. coli* ja koliformisten bakteerien kasvua sekä spesifisiin entsyymaattisiin reaktioihin, jotka havaitaan värireaktiona pesäkkeissä. (Merck, n.d.).

Tulokseksi saatiin siis koliformisten bakteerien määrä sekä *E. coli* osuus näistä koliformeista. NMKL 125 -menetelmän tarkoituksena on määrittää lämpökestoisten koliformisten bakteerien määrä. Menetelmässä oli neljä vaihetta, joista viimeisenä oli indolintuottotesti, jossa saatu positiivinen tulos tulkittiin *E. coliksi*. (NMKL 125, 2005).

3.3.4 Näytteet ja näytteenkäsittely

Tutkittuja näytteitä olivat lähtöaineet (0,5 mm ja 0,75 mm seulalla seulotun lannan kiintoainejakeet), 5 tai 7 vuorokauden ajan kompostoidut näytteet (kasat 1 - 6), 22 vuorokauden ajan kompostoidut näytteet (kasat 1 - 3) sekä kaikista kasoista yhdistetty lopputuote ja kutterinpuru. Kaikki tutkitut näytteet esikäsiteltiin samalla tavalla. Näytteet laimennettiin ensin punnitsemalla 5 grammaa kiinteää näytettä aseptisesti homogenisointipussiin ja lisäämällä 45 ml laimennusainetta. Laimennussarjat tehtiin oletetun mikrobipitoisuuden mukaan. Laimennuksien tekoon käytettiin saliini-peptoniliuosta ja näytteiden pH:t säädettiin 1 M suolahapolla tai 1 M natriumhydroksidiliuoksella. Petrifilmejä käytettäessä näytteen pH piti säätää välille 6,6 - 7,2 (3M™ Petrifilm™ E. coli/Coliform Count Plate, käyttöohje, 2010). Kaikkien näytteiden pH kuitenkin säädettiin työskentelyn helpottamiseksi riippumatta käytetystä menetelmästä. Kromogeeninen kasvatusalusta piti valmistaa juuri ennen käyttöä ja kasvatusmenetelmänä käytettiin maljavalua. (Merck, n.d.).

Näytettä homogenisoitiin Intersciencen MiniMix[®] homogenisaattorilla 30 sekunnin ajan sekä näytteen laimentamisen että pH:n säädön jälkeen. Näytteen käsittelyssä noudatettiin aseptista toimintatapaa. pH:n mittaamiseen sen säätämistä varten käytettiin Metrohm:n 744 pH Meter -laitetta tai VWR:n pH10 pH-kynää.

Tutkituista näytteistä ainoastaan kutterinpurun esikäsittely poikkesi hie- man muista. Kutterinpurun pH oli alun perin liian alhainen, jotta se olisi sijoittunut petrifilmien ohjeiden määrittelemälle optimaaluelelle, joten sen pH säädettiin natriumhydroksidilla. Muiden näytteiden pH säädettiin suo- lahapolla, koska ne olivat liian emäksisiä. Kutterinpurun homogenisointi- aika oli myös lyhyempi (n. 10 s) kuin muilla näytteillä, jotta vältettiin ho- mogenisointipussin rikkoutuminen.

Kaikkien tutkittujen näytteiden mikrobiologisena menetelmänä käytettiin petrifilmejä. Lähtöaineiden ja 5 tai 7 vuorokauden ajan kompostoiduille näytteille käytettiin petrifilmien lisäksi myös kromogeenista kasvatusalus- taa. NMKL 125 -standardimenetelmällä testattuina näytteinä käytettiin lähtöaineita. Kontrollikantana mikrobiologisissa määrityksissä käytettiin *E. coli* ATCC 8739 -kantaa.

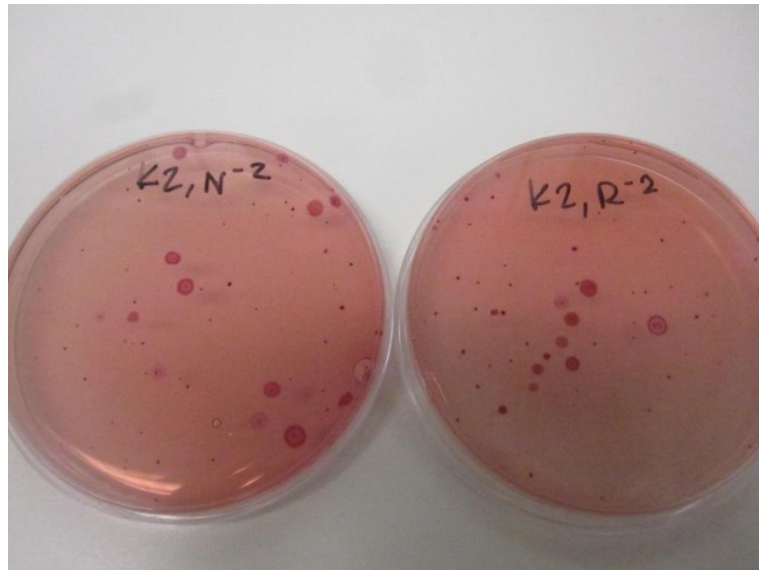
Jokaisesta näytteestä tehtiin kuusi rinnakkaisnäytettä, joille tehtiin kaikille vielä rinnakkaisaljat/-petrifilmit. Ainoastaan lähtötilanteesta (0 vrk) rin- nakkaisnäytteitä oli vain viisi, joista kahdelle ei tehty rinnakkaispetrifil- miä.

3.3.5 Mikrobiologisten menetelmien vertailu

Aluksi valittiin käytettävä määritysmenetelmä. Suurin osa Eviran hyväk- symistä laboratorioista käyttää NMKL 125 -menetelmää *E. colin* määrit- tämiseen lannoitevalmisteista (Evira, 2011). Menetelmä on kuitenkin mel- ko työläs, vaatii mikrobiologisen laboratorion varustuksen ja tulosten saaminen kestää neljä vuorokautta. Esimerkiksi lannoitevalmistealan toi- mijalla harvoin on mahdollisuuksia itse käyttää sitä omien tuotteidensa tarkkailuun. Joissain hyväksytyissä laboratorioissa on myös käytössä muunneltuja versioita ISO 16649-2:2001 -standardista, joissa käytetään petrifilmejä. Helsingin Metropolilab-laboratoriolla on käytössä myös si- säinen menetelmä, jossa käytetään kromogeenistä kasvatusalustaa *E. colin* määrittämiseen (Evira, 2011). Tässä työssä haluttiin verrata standardime- netelmää kromogeenisiin, nopeampiin ja helpompiin menetelmiin, joita ei kuitenkaan ole validoitu lannalle tai lannoitevalmisteille.

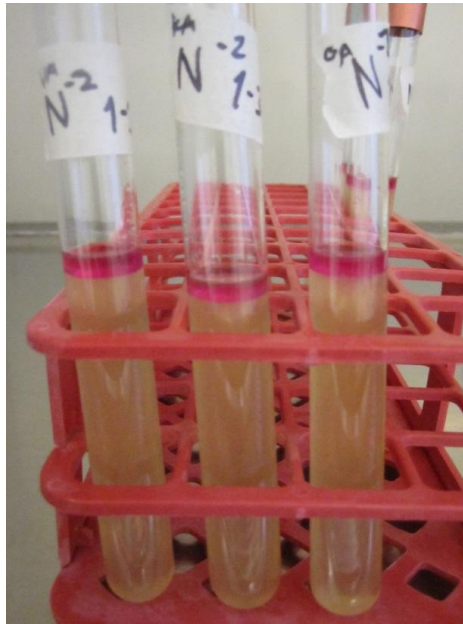
NMKL 125 -menetelmässä lämpökestoiset koliformit on määritelty bak- teereiksi, jotka muodostavat tyypillisiä pesäkkeitä selektiiviselle VRB- agarille (Scharlau) 44 °C:ssa ja tuottavat kaasua laktoosia sisältävällä nes- temäisellä alustalla 44 °C:ssa. *E. coli* on määritelty lämpökestoiseksi koli- formiksi, joka on indoliposiitiivinen 44 °C:ssa. Maljauksessa näytettä esi- kasvatettiin ei-selektiivisellä TSA -alustalla, jonka jälkeen lisättiin selek- tiivinen VRB-agar. Lämpökestoiset koliformit muodostivat pesäkkeitä 24 tunnissa 44 °C lämpötilassa, jonka jälkeen pesäkkeet laskettiin. (NMKL 125, 2005, 1 - 2.)

Menetelmäohjeen mukaan tyypilliset pesäkkeet ovat halkaisijaltaan vähintään 0,5 mm tummanpunaisia pesäkkeitä, joita ympäröi saostuma-alue. Maljalle kasvoi muutamasta kymmeneen suurempaa pesäkettä (kuva 6), jotka voi helposti tulkita olevan ainoat edustavat pesäkkeet. Maljalle kasvoi myös pienempiä samantyyppisiä pesäkkeitä, mutta ilman selkeää saostuma-aluetta, jotka kuitenkin osoittautuivat varmistustesteissä myös lämpökestoisiksi koliformeiksi ja suurin osa paljastui indolitesteissä *E. coliksi*. Pesäkkeiden määrä maljoilla ei kuitenkaan ollut niin suuri, varsinkaan pidemmälle laimennettujen näytteiden osalta, etteivät pesäkkeet olisi voineet kasvaa ns. riittävän suuriksi. Pesäkkeiden tunnistamisen hankaluus ei siis johtunut liian tiheäksi kasvaneista maljoista.



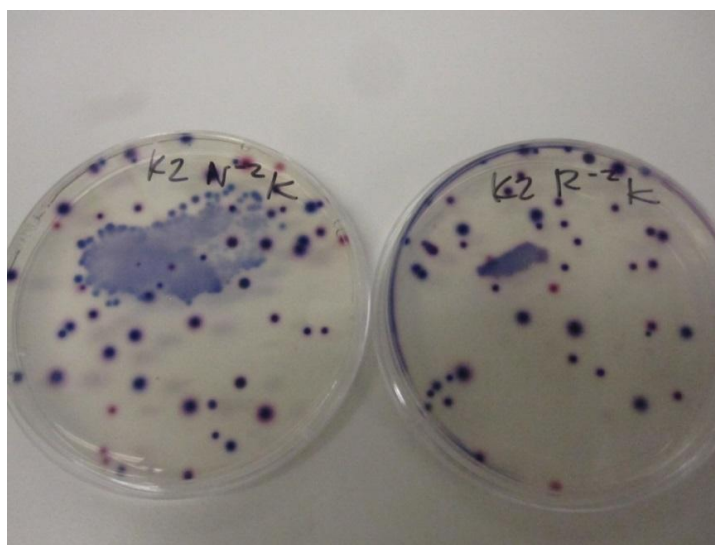
Kuva 6. 2. kompostointikasan näytteen ja rinnakkaisnäytteen 10^{-2} -laimennuksen tulokset NMKL 125 -menetelmällä. Maljoilla oli suurempia pesäkkeitä, joita ympäröi saostuma-alue, mutta myös pienempiä pesäkkeitä.

Pesäkkeiden tunnistamisen jälkeen pesäkkeet varmistettiin kasvattamalla niitä ei-selektiivisellä ravintoagarilla (Nutrient Agar, Lab M). Varmistetuista kannoista tutkittiin kaasuntuotto LTLNB-liemessä, jonka jälkeen tehtiin indolitestit (kuva 7) käyttäen Kovac's reagenssia (Pro-Lab Diagnostics).



Kuva 7. Indolitesti Kovac's -reagenssilisäyksen jälkeen. Punainen väri kertoo näytteen sisältävän *E. coli*. Koeputkien pohjalla on Durham-putket, joihin on kertynyt kaasua, mikä taas kertoo näytteen sisältävän lämpökestoisia koliformeja.

Kromogeeninen kasvatusalusta oli yksinkertainen ja nopea menetelmä *E. colin* ja kokonaiskoliformien määrittämiseen. Kasvatusalusta valmistettiin juuri ennen käyttöä ja viljelymenetelmänä käytettiin maljavalua. Vuorokauden kasvatuksen jälkeen pesäkkeet olivat muodostuneet ja tulokset valmiit luettavaksi. Kromogeenisen kasvatusalustan ongelmana oli sama kuin NMKL 125 -standardilla: pesäkkeiden tunnistus oli hankalaa. Alustalle muodostui sinisiä, violetteja, turkooseja, valkoisia ja punaisia pesäkkeitä (kuva 8), joista siniset ja violetit tulkittiin *E. coliksi* ja punaiset muiksi koliformeiksi. Kasvatusalustan ohjeen mukaan turkoosit ja valkoiset pesäkkeet tulkittiin ohjeen mukaisesti muuksi kasvustoksi.



Kuva 8. 2. kompostointikasan näytteen ja rinnakkaisnäytteen 10^{-2} -laimennuksen tulokset kromogeenisellä ChromoCult® Coliform Agar ES -kasvatusalustalla. Osa pesäkkeistä on levinnyt ja ne tulkittiin yhdeksi pesäkkeeksi tuloksia luettaessa.

Petrifilmit olivat näistä kolmesta menetelmästä kaikkein selkein ja helpoin menetelmä. 3M™ Petrifilm™ *E. coli*/Coliform (EC) -laskenta-alusta on käyttövalmis kasvatusalustajärjestelmä (3M™ Petrifilm™ *E. coli*/Coliform Count Plate, käyttöohje, 2010), jonka käyttö ja tulosten tulkin-ta oli hyvin yksinkertaista. Näytettä pipetoitiin kalvon alla olevalle kasvatusalustalle ja inkuboitiin haluttu aika, jonka jälkeen *E. coli* pesäkkeet olivat muodostuneet sinisinä alustalle ja muut koliformit ilmenivät punaisina pesäkkeinä. Tyypillisten pesäkkeiden välittömään läheisyyteen tulisi valmistajan ohjeen mukaan syntyä myös kaasukupla. Kuvassa 9 on nähtävissä edustava petrifilmi, jossa on tyypillisiä *E. coli*- ja muita koliformeja ilmentäviä pesäkkeitä.



Kuva 9. Edustava petrifilmi, jossa siniset pesäkkeet ovat tyypillisiä *E. coli* -pesäkkeitä ja punaiset muita tyypillisiä koliformipesäkkeitä.

Normarkin, Mykkäsen ja Boriakin (2010) julkaisussa on vertailtu eri laboratorioiden käyttämiä mikrobiologisia menetelmiä lähettämällä usealle laboratoriolle samanlaiset näytteet, joiden mikrobiologiset ominaisuudet olivat tiedossa. Laboratoriot analysoivat näytteet ja raportoivat tuloksensa, joista tehtiin yhteenvetoraportti.

Menetelminä julkaisussa (Normark ym., 2010) oli käytetty mm. Chromocult Coliform -agarilla, NMKL 125 -standardimenetelmää ja petrifilmejä. Yhden lähetetyn analysoitavan näytteen *E. coli* -pitoisuuden keskiarvo oli määritetty Chromocult Coliform -agarilla ja oletuksena oli, että laboratoriot saavat menetelmästä riippumatta saman tuloksen. Chromocult Coliform -agarilla ja petrifilmeillä oli saatu oikea tulos kun taas NMKL 125 -menetelmällä tulos oli hieman suurempi. NMKL 125 -menetelmän tulosten hajonta oli myös suurempi kuin petrifilmeillä ja Chromocult Coliform -agarilla.

Näytteistä testattiin myös väärin negatiivisten tulosten määrä sekä keskiarvosta suuresti poikkeavien tulosten määrä. NMKL 125 -menetelmällä

vääriä negatiivisia tuloksia tuli eniten ja vähiten niitä ilmeni petrifilmejä käytettäessä. Ainoastaan Chromocult Coliform -agarilla oli tullut kaksi keskiarvosta poikkeavaa tulosta. (Normark ym., 2010, 35.)

Vertailutulosten (Normark ym., 2010) ja tämän työn tulosten mukaan voidaan karkeasti päätellä, että NMKL 125 -menetelmällä hajonta on suurempi ja virhetuloksia (tässä työssä tulkinnan osalta) on enemmän, mikä saattaa johtua tulosten hankalasta tulkinnasta sekä menetelmän monimutkaisuudesta ja monivaiheisuudesta. Julkaisussa petrifilmien ja kromogeenisen alustan hajonnat olivat samansuuruiset ja myös tulokset olivat samat. Kromogeenisellä kasvatusalustalla tuli kuitenkin 12 vääriä negatiivista tulosta ja petrifilmeillä vääriä tuloksia oli 8, mikä oli näistä kolmesta menetelmästä vähiten. Julkaisun perusteella voidaan sanoa, että petrifilmit olivat tässä testissä kaikkein luotettavin menetelmä *E. colin* määrittämisen osalta.

3.3.6 Vedenpidätyskyky ja tilavuuspaino

Vedenpidätyskyky kertoo näytteen kyvystä imeä vettä itseensä ilman, että sitä valuu enää näytteestä pois. Vedenpidätyskyky voidaan ilmaista näytteen imemän veden prosenttiosuutena koko näytteen massasta. Vedenpidätyskyky ilmoitetaan prosentuaalisesti näytteen imemän veden massan ja kyllästetyn näytteen massan suhteen avulla. (Water-holding capacity, n.d.)

Vedenpidätyskyvyn testaamiselle tällaisesta näytteestä ei ole olemassa standardimenetelmää, joten testi tehtiin julkaisuissa esitettyjen menetelmien perusteella. Airaksisen (2006) väitöskirjassa kuivikkeen vedenpidätyskykyä testattiin lisäämällä tunnettu määrä kuiviketta sekä tunnettu määrä vettä verkkopohjaiseen tynnyriin, josta ylimääräinen vesi valutettiin toiseen astiaan. Valunut vesi otettiin talteen ja sen määrä mitattiin, jolloin tulokseksi saatiin laskennallisesti kuivikkeen vedenpidätyskyky. (Airaksinen, 2006, 27.)

Tämän työn vedenpidätyskykytestit tehtiin toisen julkaisun mukaan, joka perustuu punnitustuloksiin ja näytteen kyllästämiseen vedellä (Water-holding capacity, n.d.).

Kompostoidun lehmänlannan vedenpidätyskykyä testattiin punnitsemalla tunnettu määrä näytettä metalliverkolla varustettuun metallipurkkiin (kuva 10), jonka pohjalle oli asetettu Whatman 40 -suodatinpaperi verkon päälle. Ohjeessa suodatinpaperiksi oli ehdotettu Whatman #2:sta, jonka läpäisevyys on 8 µm, mikä on sama kuin Whatman 40 -suodatinpaperissa. Purkki laitettiin laakeaan astiaan, jonka pohjalla oli vettä, jolloin purkin alapohja oli noin 2 - 3 cm verran veden alla (kuva 10). Näytteiden annettiin imeä vettä niin kauan, kunnes koko massa oli märkä. Tämän jälkeen purkit asetettiin hetkeksi ritilän päälle, jolloin suurin osa irtovedestä saatiin valutettua pois. Valutuksen jälkeen purkit laitettiin tiiviisti aseteltujen sankojen alle, jottei vesi pääsisi haihtumaan ilmaan. Testit tehtiin myös navetassa käytetylle kuivikkeelle, kutterinpurulle.



Kuva 10. Vedenpidätyskyvyn määrittämiseen käytetyt metallipurkit ja näytteiden kylästäminen vedellä.

Seuraavana päivänä purkeista pöydälle valunut vesi pyyhittiin ja loputkin irtovedet valutettiin pois. Purkkeja punnittiin tasaisin väliajoin kunnes punnitustulokset eivät enää poikenneet huomattavasti toisistaan. Yhteensä purkit ja näytteet olivat suljettuina tiiviisti sankojen alla noin kaksi vuorokautta.

Tilavuuspaino kertoo näytteen massan tiettyä tilavuutta kohti. Mitä huoikoisempi näyte on, sitä pienempi sen tilavuuspaino on. Tässä työssä kompostoidulle lehmänlannalle ja kutterille määritettiin tilavuuspainot punnitsemalla tietty tilavuus näytettä. Koska kompostoitu lehmänlanta oli homogeenisempää, sen tilavuuspainomääritys tehtiin käyttäen 100 ml:n mittalasia ja punnitsemalla tämän tilavuuden massa. Lanta yritettiin saada mittalasiin mahdollisimman tasaisesti ja ehkäisemällä tuloksiin vaikuttavien ilmataskujen muodostumista sekä samalla varomasta tiivistämistä lantaa liian tiiviisti lasiin. Kutterin tilavuuspainon määrittämiseen käytettiin litran mittalasia näytteen epähomogeenisuuden takia, jolloin hajonta olisi pienempi kuin pienemmässä tilavuudessa. Kutterin saamiseen tasaisesti mittalasiin käytettiin apuna SFS EN 13040 -standardin määrittelemää painoa. Tätä standardimenetelmää ei käytetty tässä työssä, koska se ei sovellu koonpainuille tai kimmoisille materiaaleille.

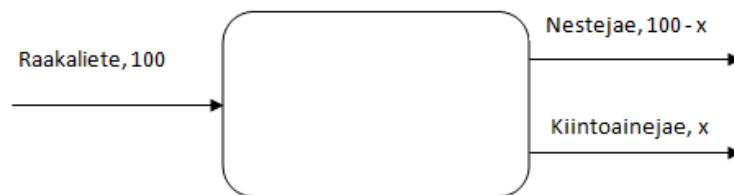
4 TULOKSET

4.1 Separoinnin tasetarkastelu

Separoinnista laskettiin kuiva-ainepitoisuuksien perusteella kuiva-ainetaseet molemmille käytetyille seuloille. Kuiva-ainepitoisuus määritettiin myös lähtöaineista: raakalietteestä, kiintoainejakeesta ja nestejakeesta, joiden perusteella taseet on laskettu. Taseesta saatiin arvio syötteen mas-savirran jakaantumisesta neste- ja kiintoainejakeiden välillä.

Taulukko 2. Lähtöaineiden kuiva-ainepitoisuudet.

Lähtöaineet	TS%	VS%
Raakaliete	3,71	2,99
Nestejake 0,75 mm	2,41	1,76
Nestejake 0,5 mm	2,41	1,79
Kiintoainejake 0,75 mm	22,73	20,90
Kiintoainejake 0,5 mm	24,94	23,38



Kuva 11. Seulontaprosessin kuvaus.

Määritetään ensin kuiva-ainetase 0,75 mm:n seulalle ratkaisemalla saatu yhtälö.

Oletetaan, että lantaa tulee prosessiin 100 kg, jolloin kuiva-ainetaseeksi saadaan:

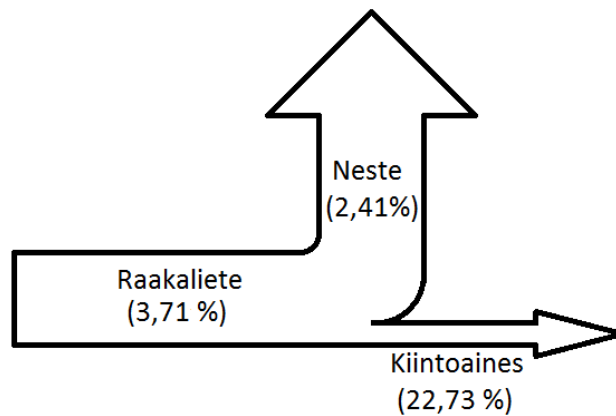
$$\begin{aligned}
 100 * 0,0371 &= 0,2273 * x + (100 - x) * 0,0241 \\
 3,71 &= 0,2273x + 2,41 - 0,0241x \\
 1,3 &= 0,2032x \\
 x &= 6,4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Saatu x:n arvo on kiintoainejakeen määrä (kg), kun raakalietettä on 100 kg. Nestejakeen määrä saadaan vähentämällä raakalietteen määrästä kiintoainejakeen osuus:

$$100 \text{ kg} - 6,4 \text{ kg} = 93,6 \text{ kg}$$

Tällöin prosenttiosuudet ovat:

- Raakaliete 100 %
- Kiintoainejae 6,4 %
- Nestejaje 93,6 %

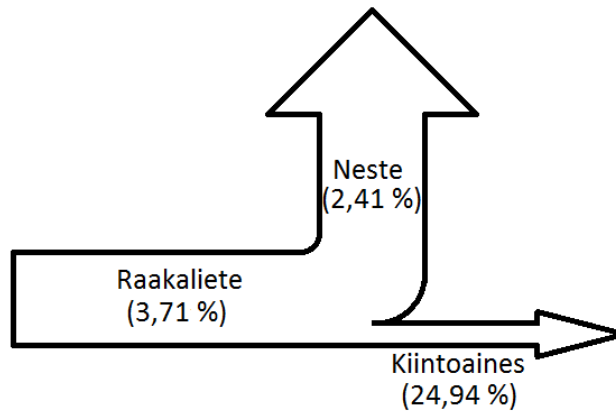


Kuva 12. Massavirtojen jakautuminen 0,75 mm:n seulalla separoituna, perustuen kuiva-ainetaseeseen. Suluissa kuiva-ainepitoisuudet.

Vastaavasti saadaan kuiva-ainetase 0,5 mm:n seulalle.

Prosenttiosuudet:

- Raakaliete 100 %
- Kiintoainejaje 5,8 %
- Nestejaje 94,2 %



Kuva 13. Massavirtojen jakautuminen 0,5 mm:n seulalla separoituna, perustuen kuiva-ainetaseeseen. Suluissa kuiva-ainepitoisuudet.

Kuiva-ainemäärityksissä käytettiin kolmea rinnakkaisnäytettä, joista laskettiin keskiarvo. Edellä olevat taseet on laskettu kuiva-ainemääritysten keskiarvotuloksista. Jokaiselle rinnakkaisnäytteelle laskettiin myös oma tase, jotta saatiin selville, vaikuttaako kuiva-ainepitoisuuden vaihtelut tasetulokseen. Kuiva-ainepitoisuusmäärityksien rinnakkaisnäytteiden tulokset eivät poikenneet juurikaan toisistaan, joten taseet pysyivät samoissa arvoissa kuin keskiarvoilla lasketut. Rinnakkaisnäytteiden tuloksilla lasketut taseet sekä laskuissa käytettyjen komponenttien kaikki kuiva-ainepitoisuusmääritysten tulokset on esitetty liitteessä 1.

4.2 Kompostointiprosessi

Näytteet kompostointiprosessin aikana otettiin kompostikasoista 1 - 3 7, 11, 15 ja 22 vuorokauden kompostoinnin jälkeen ja kasoista 4 - 6 5, 9, 13 ja 20 vuorokauden jälkeen. Kompostointi lopetettiin kasojen 1 - 3 kohdalla 26 vuorokauden kompostoinnin jälkeen ja kasojen 4 - 6 24 vuorokauden jälkeen.

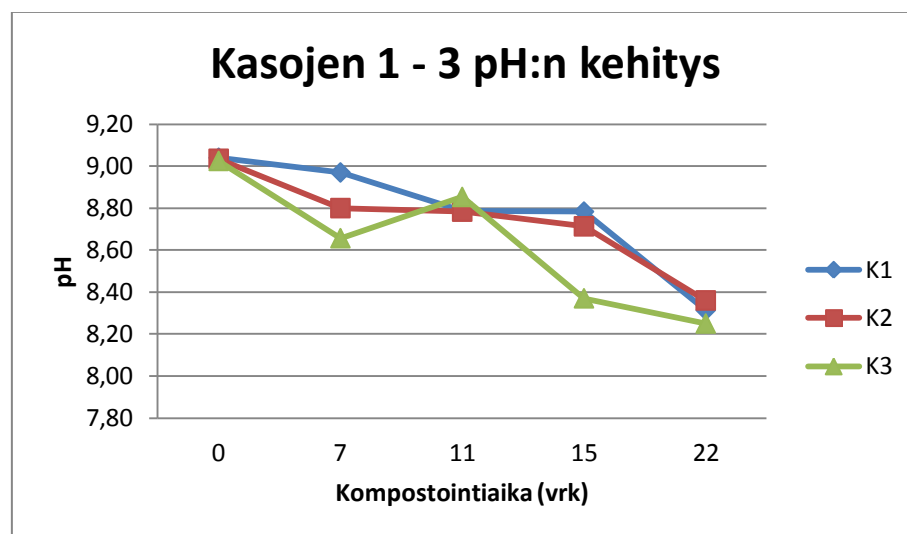
4.2.1 pH

Kompostimassasta mitatut pH-arvot ja näytteenottoajankohdat on esitetty taulukossa 3. Arvot ovat kahden tai kolmen rinnakkaisnäytteen keskiarvoja. pH:n kehitys kompostointiprosessin aikana on esitetty kuvioissa 2 ja 3. Kaikki pH-tulokset on esitetty liitteessä 2.

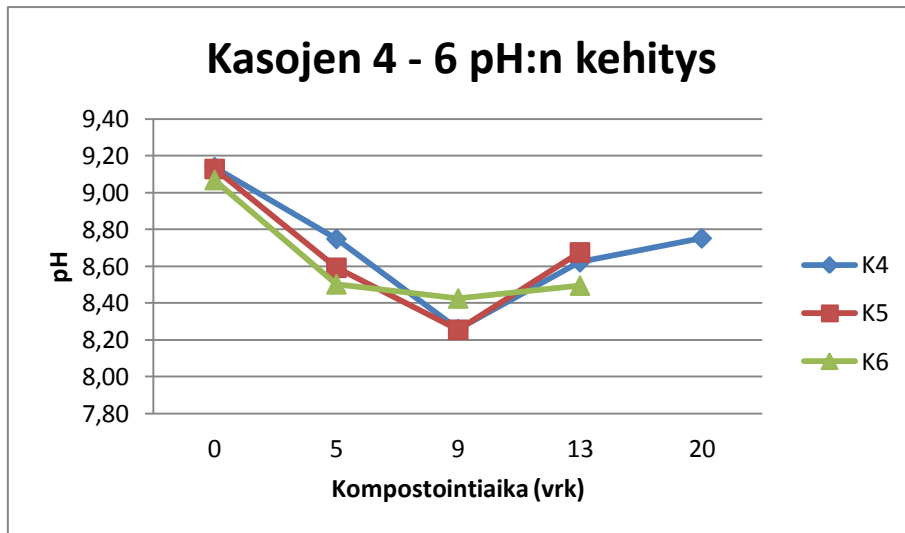
Taulukko 3. Näytteiden pH-arvot ja näytteenottoajankohdat.

vrk	0	7	11	15	22	28	52
K1	9,04	8,97	8,79	8,78	8,31	8,58	8,68
K2	9,04	8,80	8,78	8,71	8,36	8,52	8,52
K3	9,03	8,66	8,85	8,37	8,25	8,61	
vrk	0	5	9	13	20	26	50
K4	9,14	8,75	8,26	8,62	8,75	8,80	
K5	9,13	8,59	8,26	8,68			8,74
K6	9,07	8,50	8,43	8,50			8,76
vrk							50/52
K3/K4							8,59

Kaikista otetuista näytteistä mitattiin pH. 20/22 ja 26/28 vuorokauden jälkeen näytteet otettiin vain kompostikasoista 1 - 4 ja 50/52 vuorokauden jälkeen kasat 3 ja 4 oli yhdistetty, joten näyte otettiin yhdistetystä kasasta.



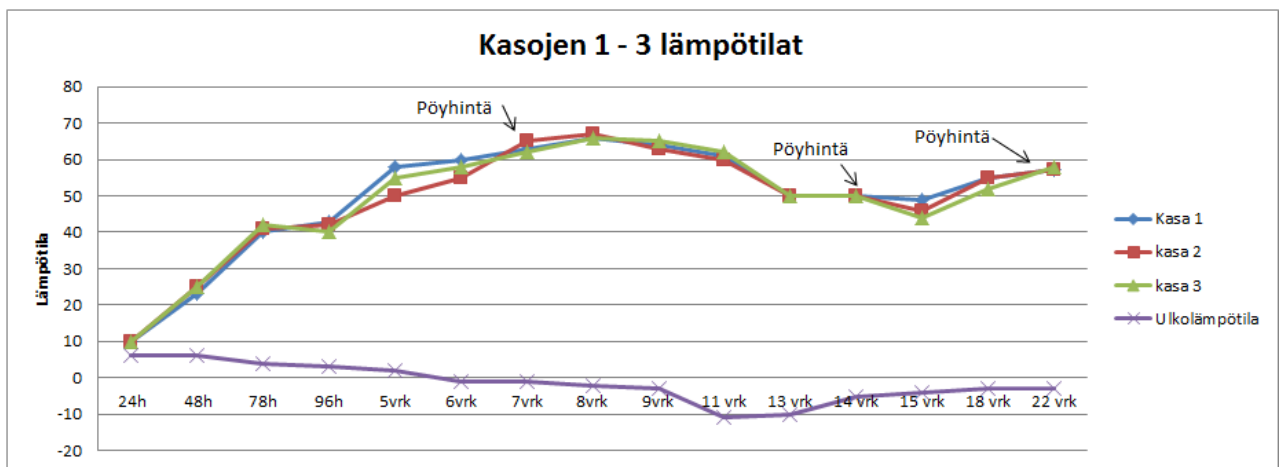
Kuvio 2. pH:n kehitys kompostoinnin aikana kasojen 1 - 3 osalta.



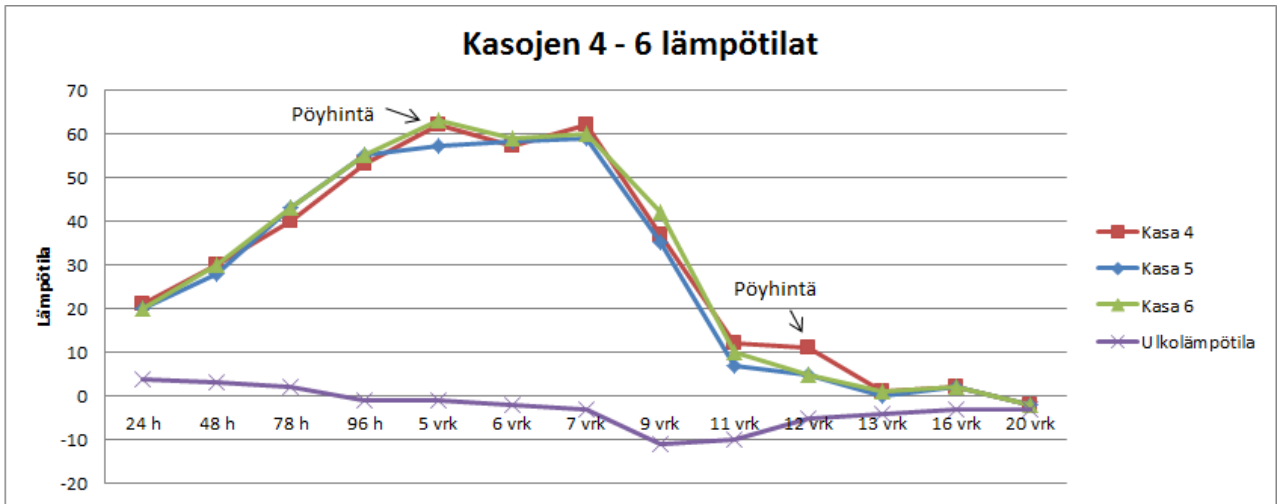
Kuvio 3. pH:n kehitys kompostoinnin aikana kasojen 4 - 6 osalta.

4.2.2 Lämpötilaseuranta

Kompostimassan lämpötilaa mitattiin koko kompostointiprosessin ajan. Kompostikasojen 1 - 3 lämpötilaprofiilit on esitetty kuviossa 4 ja kasojen 4 - 5 lämpötilaprofiilit kuviossa 5. Kuvioissa on esitetty myös suoritettujen kompostikasojen pöyhintäajankohdat. Mitatut lämpötila-arvot on taulukoitu liitteeseen 3.



Kuvio 4. Kompostikasojen 1 - 3 lämpötilaprofiili.



Kuvio 5. Kompostikasojen 4 - 6 lämpötilaprofiilit.

Lämpötilojen mittaamiseen käytetty nestelämpömittari ei ollut kovin tarkka mittaamenetelmä, koska nestepalkki alkoi heti laskea kun mittari vedettiin ulos kompostikasasta. Lämpötilat mitattiin yleensä noin kolme kertaa joka kasasta, jotta saatiin mahdollisimman hyvä käsitys kasan sisällä vallitsevasta lämpötilasta.

4.2.3 Kuiva-ainepitoisuudet ja orgaanisen aineen määrä

Kuiva-aine- ja orgaanisen aineen pitoisuusmääritykset tehtiin mahdollisimman nopeasti näytteenoton jälkeen ilman, että näytettä pakastettiin välillä. Kaikkina näytteenotokertoina kaikista kompostikasastoista ei saatu otettua näytettä. Viimeisellä näytteenotokerralla (50/52 vrk) levitetyt kasat 3 ja 4 oli kasattu yhdeksi kasaksi ennen kuin näytettä ehdittiin ottaa. Tämä on otettu huomioon TS- ja VS-pitoisuuden ilmoittavassa taulukossa nimeämällä kasa K3 + K4. Tulokset on ilmoitettu taulukoissa 4 ja 5.

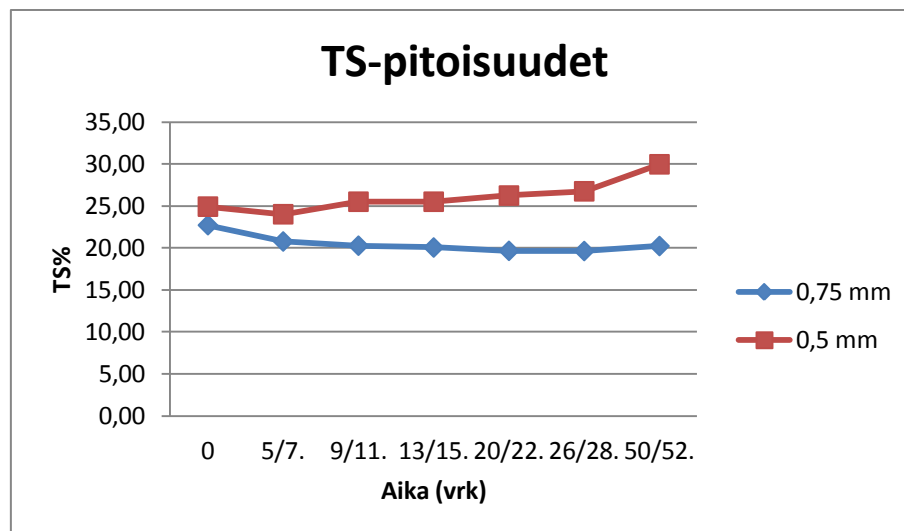
Taulukko 4. TS-pitoisuudet ja näytteenottoajankohdat.

TS-pitoisuudet (%)						
vrk	7	11	15	22	28	52
K1	20,56	19,64	19,66	19,51	19,37	17,93
K2	21,05	20,37	20,18	19,66	20,24	22,56
K3	20,76	20,85	20,37	19,85	19,34	
vrk	5	9	13	20	26	50
K4	23,86	25,03	25,03	26,26	26,77	
K5	24,40	26,16	26,16	27,04		29,70
K6	23,84	25,39	25,39	26,48		30,27
vrk						50/52
K3 + K4						32,33

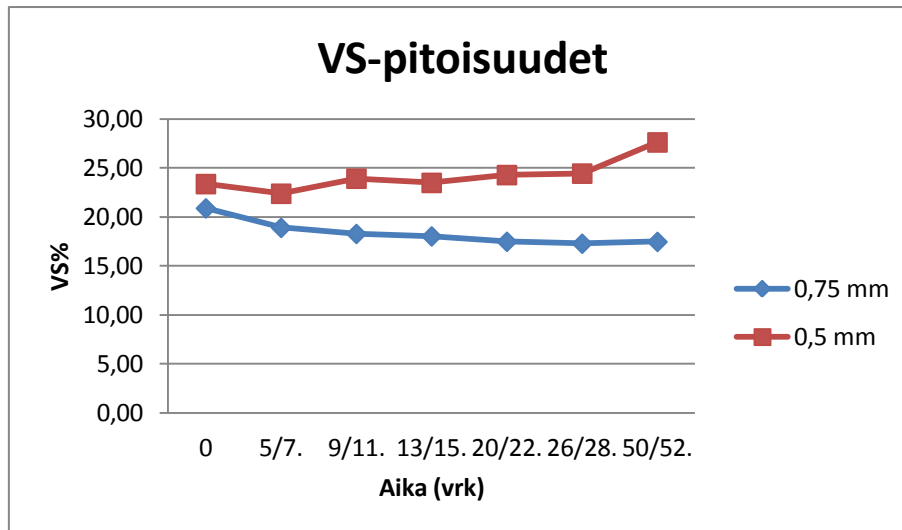
Taulukko 5. VS-pitoisuudet ja näytteenottoajankohdat.

VS-pitoisuudet (%)						
vrk	7	11	15	22	28	52
K1	18,68	17,68	17,58	17,30	17,01	15,00
K2	19,15	18,39	18,15	17,46	17,86	19,95
K3	18,89	18,79	18,38	17,70	17,00	
vrk	5	9	13	20	26	50
K4	22,24	23,21	22,96	24,30	24,45	
K5	22,73	24,89	24,10	24,87		27,34
K6	22,21	23,70	23,45	24,37		27,93
vrk						50/52
K3 + K4						29,42

Saaduista tuloksista laskettiin keskiarvot käytettyjen seulakokojen mukaan. Kasat 1 - 3 separoitiin 0,75 mm:n seulalla ja kasat 4 - 6 0,5 mm:n seulalla. Tulokset on ilmoitettu kuvioissa 6 ja 7.



Kuvio 6. TS-pitoisuudet separoinnissa käytettyjen seulakokojen mukaan.

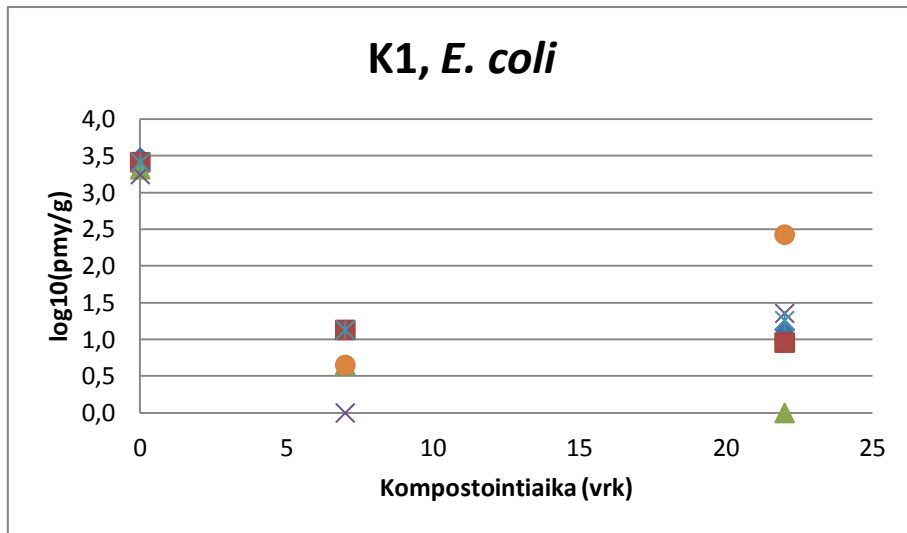


Kuvio 7. VS-pitoisuudet separoinnissa käytettyjen seulakokojen mukaan.

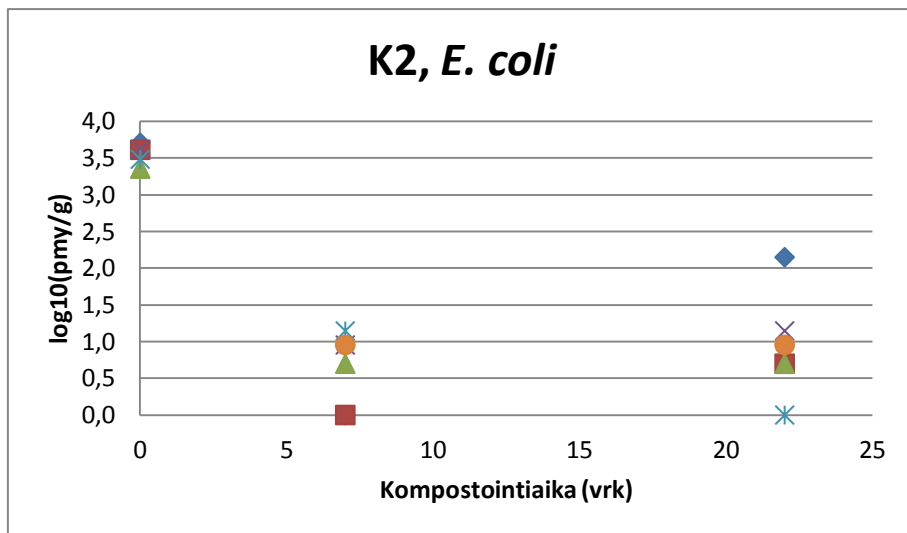
Rinnakkaistulokset ja hajonnat on lisäksi esitetty liitteessä 4. Joitain rinnakkaistuloksia piti jättää pois lopullisista laskuista, koska ne poikkesivat huomattavasti kahdesta muusta rinnakkaistuloksesta. Poikkeamiin saattaa vaikuttaa näytteen epähomogeenisuus sekä mittausvirheet. 26/28 vuorokauden jälkeen otetut näytteet säilytettiin epätasaisissa olosuhteissa, jolloin näyte pääsi välillä jäätymään ja välillä sulamaan, mikä saattaa vaikuttaa kyseessä olevan näytteen tuloksiin TS- ja VS-määritysten osalta.

4.2.4 Mikrobiologiset ominaisuudet

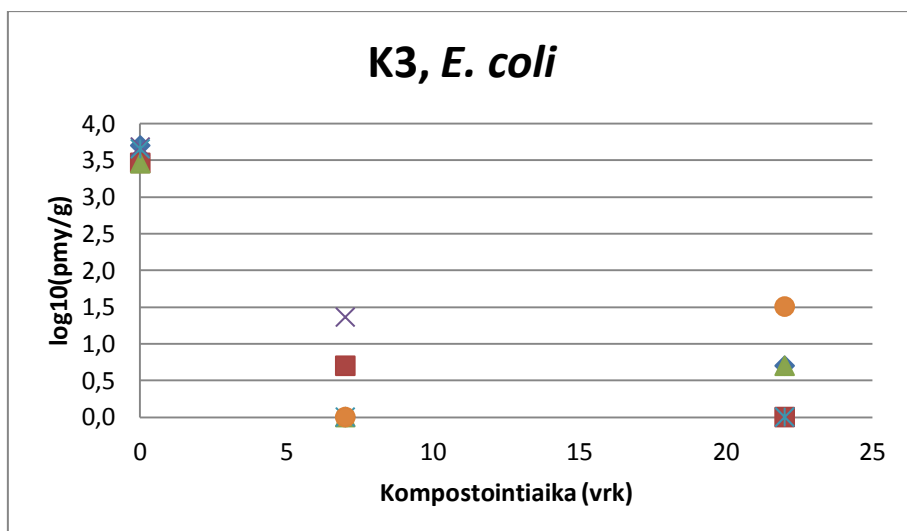
Tässä esitetyt tulokset on saatu käyttämällä määritysmenetelmänä petrifilmejä. Mikrobiologiseen tarkasteluun koko kompostointiprosessin osalta (26 vrk) valikoituivat vain kasat 1 - 3, koska kasojen 4 - 6 kompostoituminen keskeytyi kasojen jäätyneen vuoksi. Tulokset *E. colin* osalta on esitetty kuvioissa 8 - 10 ja koliformien osalta kuvioissa 11 - 13 (5 - 6 rinnakkaistulosta). Näytteet on otettu 0, 7 ja 22 vuorokautta kompostoinnin aloituksesta ja tulokset on ilmoitettu kompostointiajan suhteen.



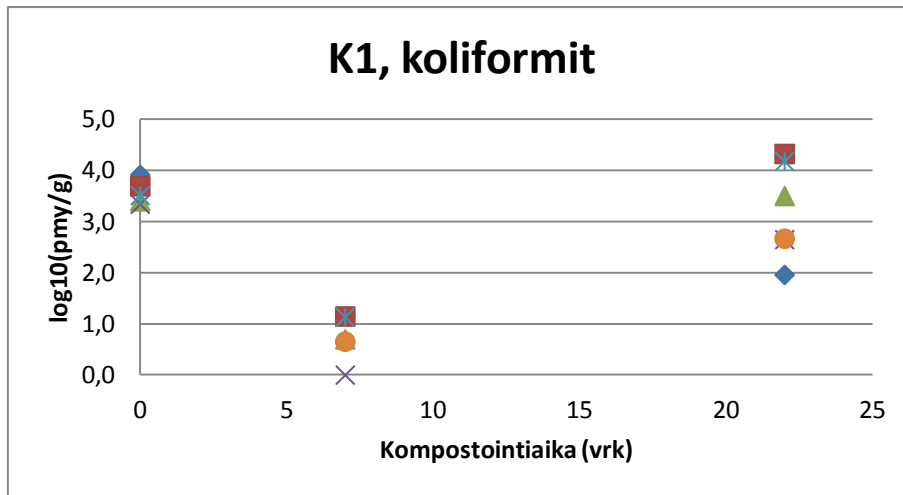
Kuvio 8. Kompostikasan 1 *E. coli* määrä (log10pmy/g) kompostoinnin aikana.



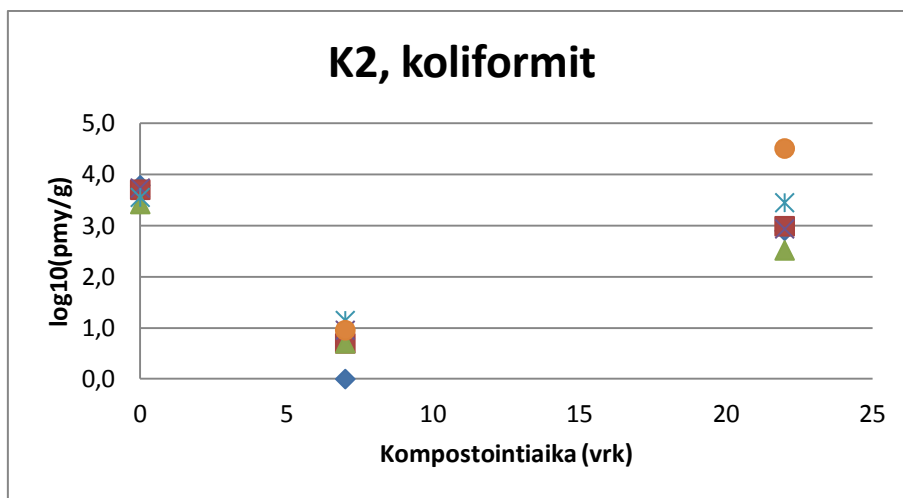
Kuvio 9. Kompostikasan 2 *E. coli* määrä (log10pmy/g) kompostoinnin aikana.



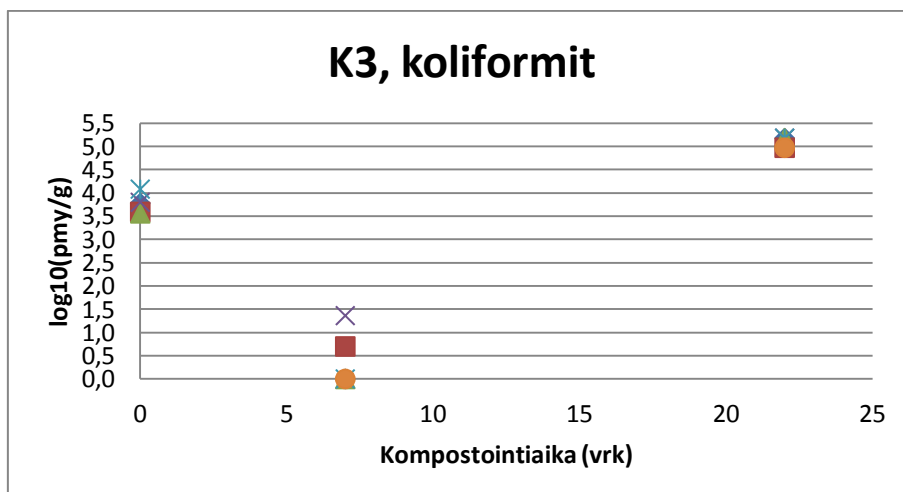
Kuvio 10. Kompostikasan 3 *E. coli* määrä (log10pmy/g) kompostoinnin aikana.



Kuvio 11. Kompostikasan 1 koliformien määrä (log₁₀pmy/g) kompostoinnin aikana.



Kuvio 12. Kompostikasan 2 koliformien määrä (log₁₀pmy/g) kompostoinnin aikana.



Kuvio 13. Kompostikasan 3 koliformien määrä (log₁₀pmy/g) kompostoinnin aikana. Kasan 3 kohdalla koliformien osalta neljä kuudesta tuloksesta on arvioita, koska pisimmälle laimennetutkin (10^{-3}) maljat olivat kasvaneet umpeen (> 150 pesäkettä)

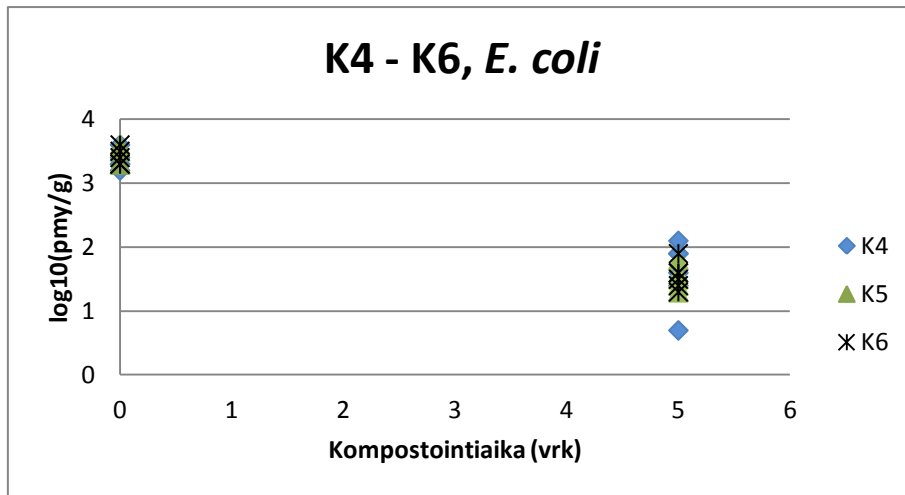
Osa rinnakkaistuloksista jätettiin pois tarkastelusta, koska ne poikkesivat liikaa muista rinnakkaistuloksista. Rinnakkaisnäytteitä tehtiin kuusi, joista tehtiin vielä sopivat laimennussarjat. Ainoastaan lähtötilanteesta (0 vrk) rinnakkaisnäytteitä oli vain viisi, joista kahdella tuloksella ei ollut rinnakkaispetrifilmien tuloksia vaan ne perustuivat vain yhden petrifilmin tulokseen. Tämä saattaa vaikuttaa tulosten hajontaan, mutta tulokset otettiin kuitenkin mukaan tarkasteluun, koska ne eivät poikenneet muista rinnakkaistuloksista merkittävästi.

Osa tuloksista jäi alle määritysrajan (< 1 pmy/g) ja osasta ei saatu tuloksia, koska pisimmällekkin laimennetut (10^{-3}) maljat olivat täyteen kasvaneita (> 150 pmy/g). Varsinkin seitsemän vuorokauden kompostoinnin jälkeen *E. colin* ja koliformien määrät olivat pienet ja osa tuloksista jäi alle määritysrajan eli pienemmistä laimennuksista ei kasvanut lainkaan pesäkkeitä.

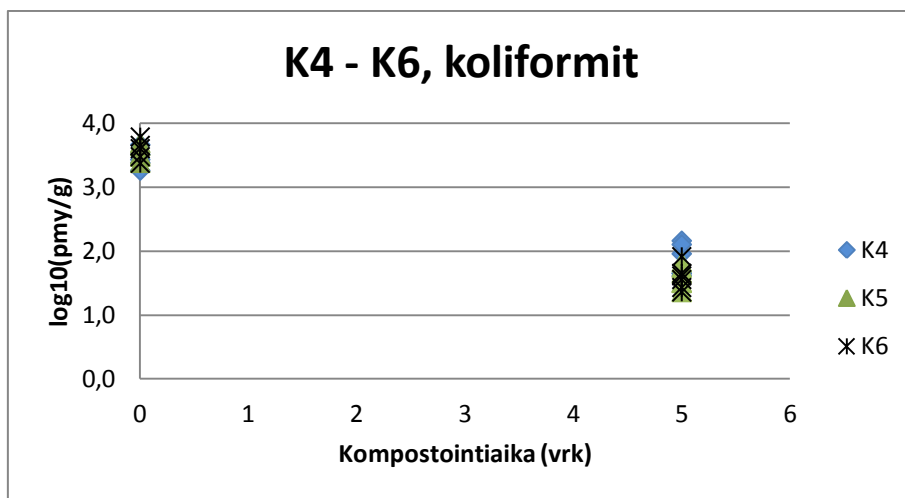
Tuloksia tarkasteltiin tilastollisesti studentin t-jakauman avulla. Rinnakkaisnäytteille lasketuille painotetuille keskiarvoille tehtiin t-testi, jonka avulla saatiin selville, oliko kompostikasojen välillä eroa tulosten perusteella. Testin avulla voidaan päätellä, onko kaksi otosta peräisin kahdesta populaatiosta, joiden keskiarvot ovat samat. Tuloksia testattiin keskenään jokaisen kasan osalta eri ajankohdissa (0, 7 ja 22 vrk). Kasojen välillä oli eroja ($p < 0,05$), joten eri kasoista saatuja tuloksia ei voida tarkastella yhdessä vaan tulokset on esitetty kaikki omissa kuvioissaan (kuviot 8 - 10 ja 11 - 13). *E. coli* -tuloksia tarkasteltaessa kasat 1 ja 3 sekä 1 ja 2 poikkesivat toisistaan ajankohdassa 0 vrk ja koliformitulosten perusteella kasa 3 poikkesi kasoista 1 ja 2 ajankohdissa 0 ja 22 vrk.

Kasojen 4 - 6 osalta kompostoituminen keskeytyi, mutta *E. coli*- ja koliformipitoisuuksien väheneminen oli huomattavissa tuloksista. Näytteet otettiin viidentenä kompostointipäivänä, jolloin *E. colin* ja koliformien määrät näytteissä olivat selvästi pienemmät kuin lähtötilanteessa. Määrät olivat kuitenkin suuremmat kuin kasoilla 1 - 3, koska kasat 1 - 3 olivat kompostoituneet jo seitsemän päivää ja kasat 4 - 6 vain viisi päivää.

Kasoille 4 - 6 tehtiin myös tilastollinen tarkastelu t-testin avulla, jonka avulla saatiin selville, että kasojen välillä ei ollut eroa ajankohtien 0 ja 5 vuorokautta välillä, joten tulokset voitiin ilmoittaa samassa kuviossa (kuviot 14 ja 15). Kuvioista nähdään, että *E. colin* ja koliformien määrät ovat laskeneet jo viiden päivän kompostoinnin jälkeen.



Kuvio 14. Kompostikasojen 4 - 6 *E. coli*n määrät (log10pmy/g) kompostoinnin aikana.



Kuvio 15. Kompostikasojen 4 - 6 koliformien määrät (log10pmy/g) kompostoinnin aikana.

Tulokset vaihtelevat rinnakkaisnäytteidenkin välillä jonkin verran ja hajonta on nähtävissä kaikissa tuloskuvioissa. Suuret hajonnat voivat johtua muun muassa lantakompostien epähomogeenisuudesta. Tulokset yksikössä pmy/g on esitetty liitteissä 5 ja 6.

4.3 Lopputuotteen ja kutterinpurun tarkastelu

Lopputuote tarkoittaa kaikkia kasoja 1 - 6 yhdistettynä ja kutterinpuru on tällä hetkellä maidontuotantotilalla käytetty kuivike. Lopputuote siirrettiin ilmakeivauksen jälkeen sikalasta maidontuotantotilalle, jossa sitä säilytettiin ulkona. Tämä on saattanut vaikuttaa tuloksiin.

4.3.1 Kuiva-aine, kosteuspitoisuus, orgaaninen aine ja pH

Lopputuotteesta ja kutterinpurusta määritettiin kuiva-ainepitoisuus, orgaanisen aineen pitoisuus sekä pH. TS-tuloksista laskettiin myös loppu-

tuotteen ja kutterinpurun kosteuspitoisuudet. Arvot on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Lopputuotteen ja kutterinpurun TS- ja VS-pitoisuudet sekä pH.

	TS %	VS %	pH	Kosteuspitoisuus (%)
Lopputuote	27,71	24,55	8,85	72,29
Kutteri	85,29	84,91	4,98	14,71

Taulukossa esitetyt tulokset ovat keskiarvoja. Kaikki rinnakkaistulokset ja hajonnat on esitetty liitteissä 2 ja 4.

Kosteuspitoisuus laskettiin vähentämällä 100 %:sta TS%.

4.3.2 Vedenpidätyskyky ja tilavuuspaino

Vedenpidätyskyky laskettiin saatujen punnitustulosten perusteella selvittämällä ensin kuivan näytteen massa ja kyllästetyn näytteen massa, joiden avulla laskettiin näytteiden sisältämä veden massa. Tätä saatua veden massaa verrattiin vedellä kyllästettyjen näytteiden massaan seuraavalla kaavalla:

$$(m_1 / m_2) * 100 \%, \text{ missä}$$

m_1 = näytteen sisältämän veden massa ja

m_2 = vedellä kyllästetyn näytteen massa.

Tuloksena saatiin prosenttiosuus, joka ilmentää näytteen sisältämän veden osuutta kyllästetyn näytteen massasta.

Kompostoidun lehmänlannan vedenpidätyskyvyksi saatiin kolmen rinnakkaisnäytteen tulosten keskiarvona noin 60 % ja kutterille saatiin noin 83 %. Lanta imi vettä huomattavasti nopeammin kuin kutterinpuru. Kutterilla keskihajonta rinnakkaisnäytteiden välillä oli suurempi kuin lannalla, mikä johtuu luultavasti kutterin epähomogeenisemmasta rakenteesta. Lannan alhaisempi vedenpidätyskyky saattaa johtua myös sen alhaisemmasta kuiva-ainepitoisuudesta. Tulokset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Kompostoidun lehmänlannan ja kutterin vedenpidätyskykytulokset kolmen rinnakkaisnäytteen osalta sekä niiden keskiarvot ja hajonnat.

Näyte	Vedenpidätyskyky (%)	Keskiarvo (%)	Hajonta
Lanta, R1	60,67	60,26	0,86
Lanta, R2	60,83		
Lanta, R3	59,27		
Kutteri, R1	82,50	83,06	1,20
Kutteri, R2	82,23		
Kutteri, R3	84,44		

Kompostoidun lehmänlannan ja kutterin tilavuuspainot on esitetty taulukossa 8, missä n tarkoittaa rinnakkaismääritysten lukumäärää. Lannan rin-

nakkaistuloksien keskihajonta on suurempi kuin kutterilla, koska lannan määritykset tehtiin 100 ml:n mittalasilla ja muutettiin myöhemmin yksiköön g/l. Tämä vaikutti hajonnan moninkertaistumiseen.

Taulukko 8. Kompostoidun lehmänlannan ja kutterin tilavuuspainotulokset. Lannan tilavuuspainon hajonta on suurempi kuin kutterilla, koska se määritettiin 100 ml:n mittalasilla.

	Tilavuuspaino (g/l)	Hajonta	n
Lanta	439,46	30,67	5
Kutteri	91,34	12,91	8

Taulukossa 9 on esitetty vedenpidätyskyvyn lisäksi laskennallisesti saatuja arvoja näytteiden imukyvyille eri yksiköissä. Imukyky litraa kuutiota kohti on ainoa, jonka mukaan kompostoidulla lehmän lannalla olisi parempi imukyky kuin kutterilla, johtuen lannan suuresta tilavuuspainosta, jota käytettiin laskuissa. Koska lannan tilavuuspaino eli toisin sanoen tiheys on suurempi, pystyy se imemään vettä kuutiota kohti enemmän kuin kutteri.

Imukyvyt yksiköissä l/kg ja l/kg ka tarkoittavat, kuinka monta litraa vettä näytteet voivat imeä kiloa tai kiloa kuiva-ainetta kohti. Näytteiden kuiva-ainepitoisuudet määritettiin eri näyte-erille, joten kuiva-ainepitoisuus ei välttämättä vastaa tämän määrityksen todellista kuiva-ainepitoisuutta. Varsinkin lanta pakastettiin kuiva-ainepitoisuusmäärityksen jälkeen, mikä yleensä lisää näytteen kosteutta jonkin verran. Kompostoidun lehmänlannan imukyky kiloa kuiva-ainetta kohti saattaa siis olla tätä laskennallista arvoa korkeampi. Kuiva-ainepitoisuuksina käytettiin kohdassa 4.3.1 esitettyjä arvoja.

Taulukko 9. Kompostoidun lehmänlannan ja kutterin vedenpidätyskyky- ja imukykytulokset ilmoitettuna eri yksiköissä.

	Vedenpidätyskyky (%)	Imukyky (l/m ³)	Imukyky (l/kg)	Imukyky (l/kg ka)
Lanta	60,26	666,64	1,52	5,47
Kutteri	83,06	449,60	4,92	5,77

Vedenpidätyskyvyn testaamiseen käytettiin itse tehtyjä metallipurkkeja, joihin kiinnitettiin kanaverkosta tehty kaksinkertainen verkko ilmastointiteipillä. Suodatinpaperi ei siis välttämättä asettunut purkin pohjalle täysin tiiviisti, joten osa vedestä on voinut valua mahdollisista aukoista pois. Purkit vuosivat vähän vedellä täytetyssä astiassa ollessaan, mikä huomattiin veteen päässeestä kutterista ja lannasta. Laskuissa ei otettu huomioon suodatinpaperin imemää veden määrää. Myös käytetty vaaka antoi testin loppuvaiheessa epäpäteviä tuloksia, joten testi jouduttiin keskeyttämään aikaisemmin kuin oli tarkoitus.

4.3.3 Mikrobiologiset ominaisuudet

Lopputuotteesta ja kutterinpurusta määritettiin petrifilmien avulla *E. colin* ja koliformisten bakteerien määrä. Rinnakkaisnäytteitä oli molemmilla näytteillä kuusi ja jokaisesta tehtiin sopivat laimennussarjat.

Kutterinpurusta ei löytynyt *E. colia* eikä koliformeja. Lopputuotteessa sen sijaan koliformien määrä oli suuri ja *E. colia* oli myös jonkin verran. Tulokset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Lopputuotteen *E. colin* ja koliformien määrät (log₁₀pmy/g ja pmy/g). R1 - R6 tarkoittavat rinnakkaisnäytteitä.

		R1	R2	R3	R4	R5	R6
log ₁₀ pmy/g	<i>E. coli</i>	0,7	2,2	1,7	2,3	0,7	1,9
	Koliformit	6,1	5,2	5,2	5,6	5,9	5,2
pmy/g	<i>E. coli</i>	5	158	45	221	5	81
	Koliformit	1 200 000	143 182	165 909	405 000	820 000	170 000

Osa tuloksista jätettiin pois laskuista, koska ne menivät yli määrittämissä rajan (> 150). Hajonta rinnakkaisnäytteiden välillä on melko suuri, mikä johtuu muun muassa lantakompostien epähomogeenisuudesta.

4.4 Tulosten tarkastelu

4.4.1 Separoinnin onnistuminen

Separointiprosessi onnistui hyvin ja 0,75 mm:n seulalla saatiin kiintoainejakeita, jonka kuiva-ainepitoisuus oli noin 23 % ja 0,5 mm:n noin 25 %. Saatavan kiintoainejakeen kuiva-ainepitoisuus riippui käytetyn seulan koosta toisin kuin nestejakeen kuiva-ainepitoisuus, mikä oli molemmilla seuloilla sama, n. 2,4 %.

Tässä työssä käytetyllä separaattorilla kiintoainejakeen osuus raakalietteestä oli 0,75 mm:n seulalla 6,4 % ja 0,5 mm:n seulalla 5,8 %. Nestejakeen osuus oli molemmilla seuloilla siis yli 90 %. Massavirtojen jakaantuminen riippuu raakalietteen kuiva-ainepitoisuudesta, joka tässä työssä oli 3,71 %.

4.4.2 Kompostoinnin edistyminen ja separoinnin vaikutus kompostointiin

Kompostoinnin edistymistä voidaan arvioida pH:n kehityksen, lämpötila- ja rakennemuutosten sekä mikrobiologisten ominaisuuksien perusteella. pH:n pitäisi laskea orgaanisten happojen muodostuessa kompostointiprosessin alussa, jonka jälkeen lähteä taas nousuun ammoniakkin muodostuessa. Tässä työssä pH oli kaikissa kasoissa lähtötilanteessa noin 9 ja alimmillaan se oli noin 8,5. Lämpötilaseurannan perusteella nähtiin prosessin saavuttaneen termofiilivaiheen 3 - 4 vuorokauden kuluessa, mutta pH laski koko kompostointiprosessin ajan. Ilmakuivauksen jälkeen pH on kuitenkin taas noussut. Näytteiden pakastaminen saattaa vaikuttaa pH-arvoon, mutta pH:n kehitys on silti nähtävissä tuloksista. pH:n muutokset ovat kuitenkin niin vähäisiä koko prosessin aikana, että mitään suurempia oletuksia pH:n muutoksen perusteella ei kannata tehdä. pH-arvo riippuu myös kompostointiin käytetystä raaka-aineesta.

Kasojen 1 ja 2 pH laski koko kompostointiprosessin aikana suhteellisen tasaisesti, mutta kasan 3 pH nousi 11 vuorokauden kohdalla korkeammalle kuin sen edellinen pH-arvo. Tämä saattoi johtua määrityksessä tai näytteenotossa tehdystä virheestä. pH-arvo oli kuitenkin samaa luokkaa kasojen 1 ja 2 pH-arvojen kanssa. Kasan 3 pH oli koko kompostointiprosessin ajan matalampi, lukuun ottamatta 11 vuorokauden nousua, kuin kasoilla 1 ja 2. Lähtötilanteessa kasojen 1 - 3 pH oli vähän yli 9 (n. 9,05) ja kompostoinnin loppuvaiheessa pH oli laskenut noin 8,3:een.

Kasojen 4 - 6 pH oli lähtötilanteessa noin 9,1, mikä on hieman korkeampi kuin kasoilla 1 - 3. Kasojen 4 - 6 kohdalla pH on laskenut 9 vuorokauden aikana alimmilleen, minkä jälkeen se on taas alkanut nousta. pH:n nousu johtuu luultavasti kompostoinnin keskeytymisestä kasojen jäätyneen vuoksi.

Lämpötilaseurannan perusteella kompostointiprosessi oli onnistunut kompostikasojen 1 - 3 kohdalla. Kasat 4 - 6 jäätyivät ennen kompostoinnin loppua, joten kompostointiprosessi jäi kesken niiden osalta. Kasojen 4 - 6 lämpötila alkoi laskea viikon kompostoinnin jälkeen ja 13 vuorokauden kompostoinnin jälkeen niiden lämpötila oli lähellä nollaa. Jäätymiseen vaikutti luultavasti massan huokoisempi rakenne sekä kasojen pienempi koko, jolloin lämpötila alkoi laskea myös kasan keskeltä. Kasojen 1 - 3 ja 4 - 6 lämpötilat kehittyivät tasaisesti toistensa suhteen eikä minkään yksittäisen kasan lämpötilakehitys poikennut muista rinnakkaiskasoista. Lämpötilaseurantaa voidaan siis pitää luotettavana ja lämpötilan kehitystä onnistuneena.

Lämpötila nousi pöyhintöjen jälkeen, koska mikrobiaktiivisuus kasvoi jälleen. Maksimilämpötila (66 - 67 °C) kasojen 1 - 3 osalta saavutettiin 8 vuorokauden kompostoinnin jälkeen. Alimmillaan lämpötila oli 15 vuorokauden kompostoinnin jälkeen (44 - 49 °C). Kasojen 4 - 6 lämpötilahuippu saavutettiin 5 ja 7 vuorokauden kohdalla (57 - 63 °C).

Kompostoinnin edistyminen oli nähtävissä myös kompostimassan rakenteesta, hajusta ja väristä. Massa muuttui vihertävän ruskeasta mustan ruskeaksi heti, kun lämpötila oli ollut jonkin aikaa tarpeeksi korkea. Massa oli ennen kompostointia hienojakoista ja suhteellisen kuivaa, mutta kompostoinnin edetessä se muuttui kokkareisemmaksi ja kosteammaksi. Haju muuttui jo viikon kompostoinnin jälkeen lannan hajusta multamaisemmaksi. Lopputuotteen haju oli multamainen, eikä lainkaan ammoniakkinen.

Kompostoinnin aikaisten kuiva-ainepitoisuusmääritysten tulosten mukaan kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat riippuen näytteenottoajankohdasta, mutta pysyivät koko kompostoinnin aikana suhteellisen samalla tasolla. Kuiva-ainepitoisuus ensin laski 0,75 mm:n seulalla separoitujen kasojen osalta, jonka jälkeen se oli hieman noussut levittämisen jälkeen. Kompostimassa on siis ensin muuttunut kosteammaksi ja haihtumisen aikana kuivunut hieman. 0,5 mm:n seulalla separoitujen kasojen osalta kuiva-ainepitoisuus näyttää kuitenkin nousseen koko kompostointi- ja ilmakehityksen prosessin aikana. Tähän saattaa vaikuttaa 0,5 mm:n seulalla separoitujen kasojen

jäätyminen kesken kompostointiprosessin, jolloin kompostointi ei onnistunut. Kasojen 1 - 3 ja 4 - 6 välillä ei ollut suuria eroja kuiva-ainepitoisuuden osalta.

Kompostikasojen sisältämä orgaaninen aines väheni suhteellisen tasaisesti kasojen 1 - 3 kohdalla, mutta kasojen 4 - 6 kohdalla orgaanisen aineksen määrä näytti kasvaneen. Orgaanisen aineksen määrän pitäisi vähentyä kompostoinnin aikana, koska mikrobit hajottavat orgaanista ainesta käyttäkseen sitä aineenvaihdunnassaan. Viiden päivän kompostoinnin jälkeen orgaanisen aineksen määrä oli laskenut myös kasoissa 4 - 6, jolloin kompostointiprosessi oli vielä toimiva. Kasojen lämpötila alkoi laskea noin seitsemän vuorokauden kompostoinnin jälkeen, jolloin myös orgaanisen aineksen määrä alkoi nousta. Kompostointiprosessi siis pysähtyi eivätkä mikrobit enää hajottaneet orgaanista ainesta. Orgaanisen aineksen väheneminen kasojen 1 - 3 kohdalla kertoo siis kompostointiprosessin onnistumisesta.

Separoinnin vaikutus kompostointiprosessiin jäi hieman epäselväksi, koska kasat 4 - 6 jäätyivät eivätkä kompostoituneet loppuun asti. 0,5 mm:n seulalla separoidut kompostikasat olivat pienempiä kuin 0,75 mm:n seulalla separoidut, joten ympäristön lämpötila vaikutti helpommin pienempiin ja hienojakoisempiin kasoihin. Kylmä ilma pääsee tunkeutumaan helpommin kompostikasan keskelle jos massan rakenne on pienipartikkeli-sempää. Toisaalta hienojakoisempi kompostimassa saattaisi kompostoitua nopeammin, koska mikrobit pääsevät hyödyntämään hajotettavia aineita helpommin homogeenisemmän ja huokoisemman rakenteen ansiosta. Tällöin ympäristön lämpötilan olisi oltava korkeampi tai kasojen isompia. Tehdyn lämpötilaseurannan perusteella kasojen 4 - 6 lämpötila nousi nopeammin yli 60 °C, mikä tukee olettamusta, että hienojakoisempi massa kompostoituisi nopeammin.

4.4.3 Hygienisoituminen

Lämpötilaseurannan perusteella kompostin lämpötila kohoaa nopeasti yli 55 °C, missä lämpötilassa suurin osa patogeenisistä mikrobeista häviää. Mikrobiologisten analyysien tulokset tukevat tätä olettamusta ja hygienisoituminen *E. colin* ja muiden koliformien osalta tapahtui suhteellisen hyvin. Uudelleenkontaminoitumiseen saattaa vaikuttaa sikalan epäpuhtaus, jota käytettiin kompostointitilana. Sikala pestiin ennen kompostoinnin ja separoinnin aloittamista, mutta sitä ei desinfioitu, joten mikrobeja on saattanut jäädä sikalan rakenteisiin. Sikalassa oli myös lietelantakouru, johon oli jäänyt lantaa, joten mikrobeja on voinut päästä komposteihin myös tätä kautta. Myös pöyhintävälineiden epäpuhtaus on osaltaan saattanut vaikuttaa kontaminoitumiseen. Pöyhintään käytettiin lapiota, jota ei pesty tai desinfioitu pöyhintöjen välillä. Puhdistamaton separointivälineistö oli myös koko kompostointiprosessin aikana samassa tilassa.

Rinnakkaisnäytteiden tulokset poikkesivat toisistaan melko paljon, mutta *E. colin* ja koliformien väheneminen oli selkeästi havaittavissa. Kasojen 1 - 3 tulokset sekä *E. colin* että koliformien osalta olivat melko samanlaiset lähtötilanteen ja seitsemän päivän kompostoinnin kohdalla. Lähtötilanne

E. colin osalta oli 2 400 - 4 000 pmy/g ja koliformien osalta 4 200 - 6 400 pmy/g. Seitsemän päivän kohdalla tulos oli sekä *E. colin* että koliformien osalta 5 - 9 pmy/g. Tämän jälkeen kasat olivat kontaminoituneet uudelleen ja etenkin koliformien määrä oli noussut lähes samalle tasolle lähtötilanteen kanssa ja kasan 3 kohdalla jopa hieman yli. *E. colin* osalta tulokset olivat jääneet kuitenkin lähtötilanteen pitoisuuksien alle. Kasan 3 *E. colin* määrä oli kaikkein alhaisin, mikä saattaa johtua suuresta muiden koliformien määrästä.

Kasojen 4 - 6 osalta kompostointiprosessi pysähtyi, mutta tulokset saatiin kuitenkin lähtötilanteesta ja viiden päivän kompostoinnin jälkeisestä tilanteesta. Tulosten perusteella oli havaittavissa, että *E. colin* ja koliformien määrät olivat vähentyneet huomattavasti jo viiden päivän kompostoinnin jälkeen. Määrät olivat pudonneet selkeästi lähtötilanteesta (*E. coli*: n. 2 400 - 2 600 pmy/g → n. 35 - 60 pmy/g ja koliformit: n. 3 000 - 4 000 pmy/g → n. 40 - 80 pmy/g).

Kaikkien kasojen lähtötilanteen *E. coli*- ja koliformipitoisuudet olivat samaa luokkaa. Määrien vähenemisen perusteella voidaan sanoa, että kompostointi oli onnistunut ja hygienisoituminen *E. colin* ja koliformien osalta tapahtui. Uudelleenkontaminoituminen olisi pitänyt estää, jotta kompostimassan hygieeninen laatu olisi säilynyt. Kompostimassan kääntely oli myös oleellista, jotta koko massa olisi saatu hygienisoitumaan.

Uudelleenkontaminoituminen ei kuitenkaan koskenut *E. coli* -pitoisuuksia kasojen 1 - 3 kohdalla samalla tavalla kuin koliformeja. *E. colin* määrä ajankohdassa 22 vuorokautta nousee joidenkin rinnakkaisnäytteiden kohdalla hieman suuremmaksi kuin 7 vuorokauden kohdalla, mutta osa rinnakkaisnäytteiden tuloksista on lähellä nollaa. Koliformien osalta uudelleenkontaminoituminen on kuitenkin selkeästi havaittavissa.

Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista (MMM 12/2007, liite IV) määritetään *E. colille* raja-arvoksi alle 1 000 pmy/g. Lähtötilanteessa kaikkien kasojen *E. colin* määrä oli yli 1 000 pmy/g. Seitsemän ja viiden vuorokauden kompostoinnin jälkeen pitoisuudet olivat kuitenkin huomattavasti pienemmät (n. 5 - 80 pmy/g) ja jäivät alle raja-arvon. Lainsäädännön mukaan tässä työssä saatu lopputuote kelpaisi siis ainakin lannoitevalmisteksi hygienisyytensä puolesta.

Tilastollisen tarkastelun perusteella kasojen 1 - 3 tulosten keskiarvot poikkesivat toisistaan eli kasojen välillä oli eroja. Erityisesti kasa 3 poikkesi kahdesta muusta kasasta etenkin koliformien osalta 22 vuorokauden kompostoinnin jälkeen. Tämä on myös nähtävissä suoraan tuloksista, koska kasan 3 koliformipitoisuudet olivat kyseisessä ajankohdassa huomattavasti kahta muuta kasaa suuremmat. Kasa 3 poikkesi myös pH:n osalta kahdesta muusta kasasta, koska sen pH oli lähes koko prosessin ajan hieman happamampi kuin kasojen 1 ja 2. Kasan 3 *E. coli* -pitoisuudetkin poikkesivat hieman 22 vuorokauden kompostoinnin jälkeen, koska *E. coli* -pitoisuudet olivat alhaisemmat kuin kasoilla 1 ja 2. Tämä saattaa johtua myös siitä, että koliformipitoisuudet olivat niin korkeat, jolloin tyyppillisiä *E. coli* -pesäkkeitä ei päässyt muodostumaan niin paljon. Kasan 3 tulokset siis

poikkesivat kahdesta muusta kasasta jonkin verran, joten kasojen 1 ja 2 tulokset vaikuttavat luotettavammilta.

Tässä työssä ei tutkittu *Salmonella* -bakteerin ilmenemistä tutkituissa näytteissä. *Salmonellan* tuhoutuminen alkaa yleensä 70 °C:ssa, mutta jos *Salmonellaa* on suuria määriä, edes 80 °C ei riitä bakteerin tuhoamiseen (Salmonellatyöryhmän muistio, 2009, 17). Tämän kompostointityön maksimilämpötila (66 - 67 °C) ei olisi siis välttämättä ollut riittävä tuhoamaan mahdollista *Salmonellaa*.

Taulukossa 11 on esitetty hygienisoitumistuloksia, jotka on eritelty käytetyn raaka-aineen, indikaattorimikrobin sekä kompostointiajan ja menetelmän suhteen. Taulukkoon on lisätty viimeiselle sarakkeelle tässä työssä saadut tulokset kasojen 1 - 3 osalta, jotka ovat karkeita keskiarvoja saaduista tuloksista (kaikki tulokset on esitetty liitteessä 5).

Raaka-aine	Indikaattorimikrobi(t)	Mikrobipitoisuus alussa	Mikrobipitoisuus lopussa	Kompostointiaika	Kompostointimenetelmä
Sianlanta ja puru ¹	Fekaaliset koliformit	5,00 log10(MPN/g)	2,27 log10(MPN/g)	91 vrk	Kasakompostointi
Separoitu sianlanta, sahanpuru, silputtu kasvijäte ja ohrasilppu ²	<i>E. coli</i>	5,33 log10(pmy/g)	Alle määritysrajan (100 pmy/g)	56 vrk	Rumpukompostointi
	Koliformit	5,38 log10(pmy/g)	3,66 log10(pmy/g)		
Yhdyskuntajäte ³	Fekaaliset koliformit	8,96 log10(pmy/g ka)	< 2 log10(pmy/g ka)	27 vrk	Aumakompostointi (ilmastus)
Jätevesiliete ⁴	<i>E. coli</i>	2,68 log10(pmy/g)	< 2 log10(pmy/g)	Aloitus 10 viikkoa, lopputuote 30 viikkoa	Aumakompostointi
	Enterokokit	4,7 log10(pmy/g)	2,31 log10(pmy/g)		
Lehmänlanta ⁵	Fekaaliset koliformit	6,6 log10(MPN/g)	2,5 log10(MPN/g)	70 vrk	Aumakompostointi
Separoitu lehmänlanta	<i>E. coli</i>	3,5 log10(pmy/g)	0,9 log10(pmy/g)	26 vrk	Kasakompostointi
	Koliformit	3,7 log10(pmy/g)	3,8 log10(pmy/g)		

Taulukko 11. Hygienisoitumistuloksia raaka-aineen, käytetyn indikaattorimikrobin, mikrobipitoisuuksien, kompostointiajan ja kompostointimenetelmän suhteen eriteltynä. (Lähteet: ¹ Tiquia, Tam & Hodgkiss, 1998; ² Mc Carthy, Lawlor, Coffey, Nolan, Gutierrez & Gardiner, 2011; ³ Déportes, Benoit-Guyod, Zmirou. & Bouvier, 1998; ⁴ Rimhanen-Finne, Vuorinen, Marmo, Malmberg, & Hänninen, 2004; ⁵ Bonhotal, Schwarz & Stehman, 2011.) Alimmaisella sarakkeella on esitetty tässä työssä saadut tulokset kasojen 1 - 3 osalta.

Taulukossa esitettyjen tulosten perusteella voidaan päätellä, että tässä työssä saadut tulokset ovat samassa linjassa muiden tutkimusten kanssa. Ainoastaan koliformien pitoisuuksien nousu eroaa muista hygienisoitumistuloksista, mikä johtuu kasojen kontaminoitumisesta.

4.4.4 Lopputuote ja kutterinpuru

Lopputuotteen kuiva-ainepitoisuus oli selvästi pienempi kuin kutterinpurun, samoin orgaanisen aineksen määrä. pH oli kutterinpurulla happamampi kuin lopputuotteella. Kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa kuivikkeen imukykyyn ja happamuus ammoniakinsitomiskykyyn. Jos kuivike kuitenkin on liian kuivaa, imeytyminen on hitaampaa. Vedenpidätyskykytesteissä huomattiin, että kutteri imi vettä huomattavasti hitaammin kuin lopputuote.

Schwarz n. (n.d.) julkaisussa kompostoidun lehmänlannan kosteuspiitoisuudeksi saatiin 64 - 73 %, joten tässä työssä saatu lopputuotteen kosteuspiitoisuus (n. 72 %) on hyvin linjassa julkaisun kosteuspiitoisuustuloksien kanssa.

Airaksisen (2006) väitöskirjassa vedenpidätyskyvyksi on saatu sahanpurulle 100 % ja puun lastulle 30 %. Kutterinpuru on luultavasti ominaisuuksiltaan näiden välillä ja sen vedenpidätyskyvyksi saatiin noin 80 %, joten tulosta voidaan pitää suhteellisen luotettavana. Lannan vedenpidätyskyvyksi saatiin noin 60 %, mikä vastaa parhaiten väitöskirjassa ilmoitetun turpeen vedenpidätyskykyä (66 %). Väitöskirjassa vedenpidätyskykyä oli kuitenkin tutkittu suuremmassa mittakaavassa kuin laboratoriomittakaavassa.

Järvilehdon (2012) opinnäytetyössä on annettu eri kuivikkeille virtsanimukykyarvoja seuraavasti: turve 660 - 780 l/m³, kutteri 390 l/m³, sahanpuru 205 l/m³ ja silppuamaton olki 270 l/m³. Tässä työssä määritetty vedenimukyky kutterille (n. 450 l/m³) on suhteellisen lähellä Järvilehdon antamaa virtsanimukykyarvoa. Nämä arvot eivät kuitenkaan ole suoraan verrannollisia, koska arvot ovat virtsanimukykyarvoja ja tässä työssä määritettiin vedenimukykyarvoa. Näiden vertailutietojen perusteella kompostoidun lehmänlannan imukyky (n. 667 l/m³) olisi lähellä turpeen imukykyä.

Lopputuotteen imukyky tilavuutta kohti (n. 667 l/m³) oli suurempi kuin kutterilla (n. 450 l/m³), mikä tarkoittaa sitä, että lopputuote pystyi imemään kuutiota kohti enemmän vettä kuin kutteri. Kuitenkin imukyky ilmoitettuna litraa kilogrammaa kohti kutterilla oli parempi imukyky (lopputuotteella n. 1,5 l/kg ja kutterilla n. 4,9 l/kg). Kompostoitu lehmänlanta pystyi siis imemään vettä itseensä enemmän kun tarkastellaan tuotteen tilavuutta, mutta tarkasteltaessa massaa kutterilla oli parempi imukyky.

Imukykyä tarkasteltiin myös ottamalla huomioon lopputuotteen ja kutterin kuiva-ainepitoisuudet, jolloin molemmilla oli lähes sama imukyky, lopputuotteella 5,47 l/kg ka ja kutterilla 5,77 l/kg ka.

Kompostoidun lehmänlannan ammoniakinsitomiskyky ei välttämättä ole kovin hyvä, johtuen sen suhteellisen korkeammasta pH:sta. Ammoniakinsitomiskyvyltään hyvällä kuivikkeella on happamampi pH, kuten esimerkiksi turpeella. Lannan imukyky oli kuitenkin suhteellisen hyvä ja se imi vettä huomattavasti nopeammin kuin kutterinpuru. Kuivikkeet vaihdetaan navetoissa yleensä useamman kerran viikossa, joten immunopeus on myös tärkeä ominaisuus kuivikkeelle etenkin lehmien mukavuuden puolesta. Jos kuivike imee virtsan hitaasti itseensä, lehmä ehtii sotkea itsensä virtsaan ennen kuin se on kokonaan imeytynyt. Immunopeuteen vaikuttaa kuitenkin oleellisesti kuivikkeen määrä karsinassa.

Lannan imukyky tilavuutta kohti oli parempi kuin kutterinpurulla. Laskuissa käytettiin määritettyjä tilavuuspainoja, joka lannalla oli huomattavasti suurempi kuin kutterilla (lanta n. 440 g/l, kutteri n. 91 g/l). Imukyky tilavuutta kohti on tärkeä kuivikkeen ominaisuus, koska sen perusteella voidaan arvioida tarvittavan kuivikkeen määrää. Jos kuivike pystyy imeämään itseensä vain vähän vettä suurta tilavuutta kohti, joudutaan se vaihtamaan suurempaan tuoreen kuivikkeen määrään kuin hyvän imukyvyn omaava kuivike. Imukyky tilavuutta kohti vaikuttaa täten myös kuivikkeen varastointitarpeeseen ja kustannuksiin.

Kutterinpuru oli mikrobiologisesti puhtaampaa kuin lopputuote eikä siitä löytynyt lainkaan *E. colia* tai koliformeja. Lopputuotteessa etenkin koliformien määrä oli suuri ja *E. colia* ilmeni myös jonkin verran. Lopputuotteen koliformipitoisuudet olivat huomattavasti suurempia kuin kasojen 1 - 3 vastaavat pitoisuudet. *E. colia* oli suurin piirtein saman verran kuin kasojen 1 - 3 kompostoinnin lopputilanteessa. Lopputuotteen *E. colin* määrä (5 - 221 pmy/g) jäi kuitenkin alle lannoitevalmistelaisissa määritetyn raja-arvon (1 000 pmy/g).

Lopputuotteeseen oli sekoitettu kaikki kasat yhteen, minkä takia lopputuotteen koliformipitoisuudet eivät vastaa kasojen 1 - 3 pitoisuuksia. Lopputuote siirrettiin pois sikalasta ilmakehän jälkeen ja sitä säilytettiin ulkoilmassa lähellä maidontuotantotilaa. Ulkoilmassa varastoitaessa lopputuotteeseen on voinut helposti päästä lisää mikrobeja.

Vincent corporationin (2001) ja Schwarzn ym. (n.d.) julkaisujen mukaan kompostoidun tai kompostoitumattoman lannan käyttäminen kuivikkeena ei suoraan vaikuta mm. utaretulehduksen esiintymistiheyteen. Myöskin ns. liian puhtaassa kuivikkeessa mikrobit voivat lisääntyä eksponentiaalisesti, koska niillä ei ole kilpailua toisten mikrobien kanssa. Lannan kompostointia ei myöskään pidetä Vincent corporationin (2001) julkaisun mukaan enää ehdottomana vaatimuksena lannan saattamisessa kuivikekäyttöön, koska lannan sisältämät mikrobit eivät aiheuta suoraan terveyshaittoja eläimille. Näiden tietojen perusteella tässä työssä saatu lopputuote soveltuisi hyvin kuivikkeeksi myös mikrobiologisilta ominaisuuksiltaan.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulosten perusteella voidaan todeta, että lehmänlanta on kompostoinnin jälkeen hygieenistä lannoitevalmistelain raja-arvojen mukaan. Lopputuote on vielä hygieenisempää, jos pystytään estämään kompostimassan uudelleenkontaminoituminen. Noin viikon kompostointi saattaisi olla riittävä, jos pystytään takaamaan koko massan hygienisoituminen eli lämpötilan tasainen kohoaminen ja korkean lämpötilan pysyminen koko massan osalta.

Kompostoitua lehmänlantaa voitaisiin käyttää sen kompostoinnin jälkeisten ominaisuuksien perusteella kuivikkeena, koska lannan haju häviää ja sen rakenne pysyy hyvänä. Lopputuotteen imukyky tilavuutta kohti ja vedenpidätyskyky olivat samaa luokkaa turpeen kanssa, joten kompostoitua lehmänlantaa voisi pitää turpeeseen verrattavana kuivikkeena. Yhtenä suurena erona on kuitenkin lehmänlannan emäksisempi pH, mikä vaikuttaa ammoniakinsitomiskykyyn negatiivisesti.

Kuivikkeen valintaan vaikuttaa oleellisesti sen saatavuus ja hinta. Lehmänlantaa kuivikkeeksi olisi mahdollisesti saatavilla navetoissa koko ajan, jos separointi ja kompostointi saataisiin kehitettyä helpommaksi ja mahdollisesti automaattiseksi. Hintaan vaikuttaisi lähinnä investointi- ja mahdolliset huoltokustannukset, mutta raaka-aine olisi ilmaista ja sitä olisi mahdollisesti koko ajan saatavilla. Kompostoitua lehmänlantaa voitaisiin käyttää turpeen mukaan myös lannoitteena tai maanparannusaineena.

Myös kuivikkeen pölyävyys, käsiteltävyys ja tilavuuspaino vaikuttavat kuivikkeen valintaan. Tässä työssä saatu lopputuote ei pölynnyt, mikä johtuu luultavasti sen matalasta kuiva-ainepitoisuudesta, koska sitä ei saatu kuivatettua ilmakeivillä. Kompostoidun lehmänlannan käsiteltävyys ja tilavuuspaino riippuvat oleellisesti lannan kuiva-ainepitoisuudesta. Mitä kuivempaa lannasta saadaan, sitä pienempi olisi myös sen tilavuuspaino. Tilavuuspaino vaikuttaa kuivikkeen käsiteltävyyteen: jos tilavuuspaino on suuri, kuivikkeen kuljettaminen karsinaan ja sen lapiointi on raskaampaa, mutta vaatii samalla vähemmän varastointitilaa kuin pienen tilavuuspainon omaava kuivike.

Jatkotoimenpiteitä ajatellen kompostointi kannattaisi suorittaa kesällä ilmakeivillä onnistumiseksi tai keksiä kompostoidun lannan kuivaamiselle jokin toinen menetelmä. Esimerkiksi sijoittamalla kompostointiprosessi ja ilmakeiväus lämmitettyyn tilaan, jolloin lämpötila pysyisi tasaisesti nollan yläpuolella. Myös kompostointiaikaa olisi mahdollista lyhentää jos pystytään takaamaan koko massan kompostoituminen. Aiempien julkaisujen perusteella hygienisoitumista tärkeämpää olisi kuitenkin kompostoinnin aikana tapahtuvat rakenne- ja hajumuutokset sekä kompostoinnin jälkeinen lannan kuivattaminen.

LÄHTEET

- 3M. 2010. Petrifilm™, E. coli/Coliform count plate, käyttöohjeet.
http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSufSevTsZxtUoxTUP8_UevUqevTSevTSevTSeSSSSSS--&fn=34870664579_EC-CC.pdf
- Airaksinen, S. 2006. Bedding and manure management in horse stables. Kuopion yliopiston julkaisuja C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 190. Väitöskirja.
<http://wanda.uef.fi/uku-vaitokset/vaitokset/2006/isbn951-27-0348-3.pdf>
- Albers, M., Helle, H., Varpula, T., Itävaara, M., Kapanen, A. & Vikman, M. 2003. Kompostointiprosessin monitorointi ja ohjaus. VTT tiedotteita 2207.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2207.pdf>
- Bonhotel, J., Schwarz, M. & Stehman, M. 2011. Hoe *Mycobacterium avium paratuberculosis* is affected by the composting process. Trends in Animal & Veterinary Sciences Journal 2(1):5-10.
<http://cwmi.css.cornell.edu/howmap.pdf>
- Brochier, V., Gourland, P., Kallassy, M., Poitrenaud, M. & Houot, S. 2011. Occurrence of pathogens in soils and plants in a long-term field study regularly amended with different composts and manure. Agriculture, Ecosystems and Environment 160 (2012) 91 - 98. Elsevier. Pdf-tiedosto.
http://ac.els-cdn.com/S0167880911001769/1-s2.0-S0167880911001769-main.pdf?_tid=b2bec710-c6fc-11e2-9456-00000aacb35d&acdnat=1369680120_ff28e753ee5c55ed8e1e25b9a31bea3c
- Déportes, I., Benoit-Guyod, J.-L., Zmirou, D. & Bouvier, M.-C. 1998. Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting. Journal of Applied Microbiology, 85, 238 - 246. Pdf-tiedosto.
<http://web.ebscohost.com.ezproxy.hamk.fi:2048/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=12a3cd95-59fd-44b3-95d4-a14fdb9eec80%40sessionmgr4&vid=4&hid=9>
- Evira. 2011. Lannoitevalmistetutkimukset. Viitattu 7.2.2013.
[http://www.evira.fi/portal/fi/tietoa+evirasta/esittely/toiminta/laboratoriotoin-
min-
ta/eviran_hyvaksymat_laboratoriot/hyvaksytyt_laboratoriot/lannoitevalmis-
teet/](http://www.evira.fi/portal/fi/tietoa+evirasta/esittely/toiminta/laboratoriotoin-
min-
ta/eviran_hyvaksymat_laboratoriot/hyvaksytyt_laboratoriot/lannoitevalmis-
teet/)
- Fuchs, J. 2010. Interactions between beneficial and harmful microorganisms: from the composting process to compost application. Sveitsi.
http://www.biophyt.ch/documents/Fuchs_Microbes_%20at_%20work_2010.pdf

Halinen, A., Palojärvi A., Karinen, P., Heinonen-Tanski, H. & Tontti, T. 2006. Jätekompostit lannoitteena peltoviljelyssä - biologiset ja kemialliset vaikutukset. Maa- ja elintarviketalous 81. Jokioinen.
<http://www.mtt.fi/met/pdf/met81.pdf>

Halinen, A. & Tontti, T. 2004. Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla. MTT:n selvityksiä 70. Jokioinen.
<http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts70.pdf>

Harrison, E. 2004. Hygienic implications of small-scale composting in New York State. Final Report of the Cold Compost Project. The Cornell Waste Management Institute. Ithaca, NY.
<http://cwmi.css.cornell.edu/coldcompost.pdf>

Harrison, E., Bonhotal, J., Schwarz, M. & Fiesinger, T. 2008. Using manure solids as bedding. Final report. Cornell Waste Management Institute. The New York State energy research and development authority.
<http://cwmi.css.cornell.edu/beddingfinalreport.pdf>

Havukainen, J. 2009. Bioenergiaa ja ravinteita kasvi- ja eläinperäisistä sivuainevirroista Parikkalassa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/45051/nbnfi-fe200905131445.pdf?sequence=3>

Heikkilä, T., Kemppainen, E., Karppinen, A. & Sivelä, S. 2004. Lietelannan vaikutus nurmen ja säilörehun laatuun sekä syöntiin. MTT ja Valio Oy.
<http://www.smts.fi/MTP%20julkaisu%202004/posterit04/kr18.pdf>

Hälli, O. n.d. Kuivikkeilla puhtautta ja terveyttä. Viitattu 12.3.2013.
http://www.pellervo.fi/maatila/mp6_03/kuivike.htm

Itävaara, M., Vikman, M., Kapanen, A., Venelampi, O. & Vuorinen, A. 2006. Kompostin kypsyystestit. VTT:n tiedotteita 2351.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2351.pdf>

Järvilehto, R. 2012. Kuivikkeen käyttö kuivikepohjapihatissa lihakarjatiljoilla. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Pdf-tiedosto.
http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/50314/Jarvilehto_Riitta.pdf?sequence=1

Lannoitevalmistelaki. 29.6.2006/539.

Mc Carthy, G., Lawlor, P., Coffey, L., Nolan, T., Gutierrez, M. & Gardiner, G. 2011. An assessment of pathogen removal during composting of the separated solid fraction of pig manure. *Bioresource Technology* 102, 9059 - 9067. Elsevier.

http://ac.els-cdn.com/S0960852411009473/1-s2.0-S0960852411009473-main.pdf?_tid=86fa662e-c6fd-11e2-94aa-00000aab0f26&acdnat=1369680477_b3acd3c047338690964401519fd9eb85

Merck. n.d. ChromoCult[®] Coliform Agar ES -käyttöohje. For detection of coliforms in waste water and fresh foods.

Meriluoto, M. 2009. Lypsytekniikan ja vuodenajan vaikutus raakamaidon mikrobiologiseen laatuun. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Insinööriyö.

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2978/Lypsytek.pdf?sequence=1>

Nikkilä, J. & Nurmi, M. 2009. Karjanlannan kannattavuustekijät lannoituksessa. Laurea-ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Hyvinkää. Viitattu 5.3.2013.

<http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2345/Mikon%20ja%20Jyrkin%20tyo.pdf?sequence=1>

Nordic committee on food analysis No 125. 2005. Thermotolerant coliform bacteria and *Escherichia coli*. Enumeration in food and feed.

Normark, C., Mykkänen, K. & Boriak, I. 2010. Proficiency testing. Food Microbiology. Livsmedel Verket. National Food Administration. Ruotsi.

http://www.slv.se/upload/dokument/rapporter/pt_rapporter/2010/Report%2012%20E2%80%93%202010_2010_04.pdf

Paatero, J., Lehtokari, M. & Kemppainen, E. 1984. Kompostointi. Juva: WSOY.

Rimhanen-Finne, R., Vuorinen, A., Marmo, S., Malmberg, S. & Hänninen, M.-L. 2004. Comparative analysis of *Cryptosporidium*, *Giardia* and indicator bacteria during sewage sludge hygienization in various composting processes. *Letters in Applied Microbiology*, 38. 301 - 305. Pdf-tiedosto.

<http://web.ebscohost.com.ezproxy.hamk.fi:2048/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=12a3cd95-59fd-44b3-95d4-a14fdb9eec80%40sessionmgr4&vid=6&hid=9>

Salmonellatyöryhmän muistio. 2009. Työryhmämuistio mmm 2009:10. Helsinki.

<http://www.mmm.fi/attachments/5J78Wx1cy/salmonellapienryhma.pdf>

Schwarz, M., Bonhotal, J. & Harrison, E. 2008. Frequency of re-bedding with dairy manure solids. Cornell Waste Management Institute.

<http://cwmi.css.cornell.edu/frequencyresults.pdf>

Schwarz, M., Bonhotal, J. & Staehr, E. n.d. Use of dried manure solids as bedding for dairy cows. Cornell Waste Management Institute. Viitattu 26.4.2013.

http://www.progressivedairy.com/index.php?option=com_content&id=5367:use-of-dried-manure-solids-as-bedding-for-dairy-cows&Itemid=77

Simpanen, M. 2006. Typeä sisältävien jätevesien käsittely 2-N-PRO -menetelmällä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö.

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/30494/nbnfi-fe200811212105.pdf>

Suomalainen, M. 2007. Naudan lietalannan käsittelymenetelmien taloudellinen vertailu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/29758/Naudan%20lietalannan%20k%C3%83%C2%A4sittelymenetelmien%20taloudellinen%20vertailu.pdf>

Särkijärvi, S. n.d. Kuivikkeiden ominaisuudet hevosen ja ympäristön kannalta. MTT Hevostutkimus Ypäjä. Pdf-tiedosto.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=113798&lan=fi>

Tiquia, S.M., Tam, N. F. Y. & Hodgkiss I. J. 1998. *Salmonella* elimination during composting of spent pig litter. Biosource Technology 63. Elsevier Science Ltd. 193 - 196.

http://ac.els-cdn.com/S0960852497001132/1-s2.0-S0960852497001132-main.pdf?_tid=1d69d400-c6fe-11e2-8844-00000aacb35f&acdnat=1369680729_62e24de0fde484525378da833de4968c

Vincent corporation. 2001. Manure as Bedding. Viitattu 26.4.2013.

<http://www.vincentcorp.com/content/manure-bedding>

Water-holding capacity. n.d. Doc-tiedosto.

https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CD0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.smtaylor.org%2Ffiles%2F%2FSOIL_water_holding_capacity_LAB.doc&ei=eZRQUfGYN8OJ4gTm04GYBQ&usg=AFQjCNFepIVVmKevgrRV3E7FA_LSIYM3_g

SEULONNAN KUIVA-AINETASEET RINNAKKAISNÄYTTEIDEN
TULOKSILLA LASKETTUINA

Taselaskuissa käytettyjen komponenttien kaikki kuiva-ainepitoisuustulokset sekä keskihajonta.

	R1 (TS%)	R2 (TS%)	R3 (TS%)	Hajonta
Raakaliete	3,692	3,782	3,657	0,06
Kiintoainejae, 0,75 mm	22,625	23,134	22,429	0,36
Kiintoainejae, 0,5 mm	24,929	24,981	24,913	0,04
Nestejae 0,75 mm	2,401	2,403	2,418	0,01
Nestejae 0,5 mm	2,409	2,411	2,408	0,00

Taselaskujen tulokset kuiva-aineen ja nesteen osuudelle, huomioiden kuiva-ainepitoisuustulosten rinnakkaisnäytteet, sekä keskihajonnat.

	Kiintoainejae	Nestejae
0,75 mm; R1	6,384	93,616
0,75 mm; R2	6,652	93,348
0,75 mm; R3	6,192	93,808
Hajonta	0,231	0,231
0,5 mm; R1	5,697	94,303
0,5 mm; R2	6,074	93,926
0,5 mm; R3	5,550	94,450
Hajonta	0,271	0,271

NÄYTTEIDEN PH-TULOKSET JA NIIDEN KESKIHAJONNAT

	25./23.11.	Hajonnat	29.11.	Hajonnat	3.12.	Hajonnat	7.12.	Hajonnat
K1, R1	9,03	0,01	8,93	0,06	8,72	0,07	8,83	0,05
K1, R2	9,05		9,01		8,86		8,79	
K1, R3					8,78		8,73	
K2, R1	9,04	0,01	8,49	0,27	8,77	0,05	8,78	0,06
K2, R2	9,03		8,97		8,84		8,69	
K2, R3			8,94		8,74		8,67	
K3, R1	9,03	0,01	8,65	0,01	8,91	0,05	8,72	0,59
K3, R2	9,02		8,65		8,83		8,70	
K3, R3			8,67		8,82		7,69	
K4, R1	9,12	0,03	8,69	0,06	8,22	0,04	8,62	0,02
K4, R2	9,16		8,80		8,27		8,61	
K4, R3			8,76		8,29		8,64	
K5, R1	9,11	0,03	8,52	0,06	8,21	0,05	8,70	0,05
K5, R2	9,15		8,64		8,26		8,71	
K5, R3			8,62		8,30		8,62	
K6, R1	8,99	0,11	8,51	0,01	8,45	0,03	8,42	0,07
K6, R2	9,15		8,50		8,43		8,51	
K6, R3			8,50		8,40		8,56	

	14.12.	Hajonnat	20.12.	Hajonnat	13.1.	Hajonnat
K1, N	8,24	0,08	8,59	0,02	8,70	0,03
K1, R	8,30		8,59		8,68	
K1, R2	8,40		8,55		8,65	
K2, N	8,44	0,07	8,54	0,03	8,64	0,04
K2, R	8,34		8,49		8,56	
K2, R2	8,30		8,54		8,57	
K3, N	8,22	0,04	8,65	0,03		
K3, R	8,23		8,60			
K3, R2	8,30		8,59			
K4, N	8,82	0,06	8,82	0,04		
K4, R	8,74		8,82			
K4, R2	8,70		8,75			
K5, N					8,74	0,02
K5, R					8,72	
K5, R2					8,75	
K6, N					8,83	0,06
K6, R					8,73	
K6, R2					8,73	
K3/4, N					8,64	0,04
K3/4, R					8,56	
K3/4, R2					8,57	

Lopputuote	Hajonnat	Kutteri	Hajonnat
8,80	0,05	4,95	0,04
8,88		4,97	
8,88		5,02	

KOMPOSTOINNIN AIKAINEN LÄMPÖTILASEURANTA

Kasojen 1 - 3 lämpötilat sekä ympäristön lämpötila.

	23.11.	24.11.	25.11.	26.11.	27.11.	28.11.	29.11.	30.11.
	24h	48h	78h	96h	5vrk	6vrk	7vrk	8vrk
Kasa 1	10	23	40	43	58	60	63	66
kasa 2	10	25	41	42	50	55	65	67
kasa 3	10	25	42	40	55	58	62	66
Ulkolämpötila	6	6	4	3	2	-1	-1	-2
	1.12.	3.12.	5.12.	6.12.	7.12.	10.12.	14.12.	
	9vrk	11 vrk	13 vrk	14 vrk	15 vrk	18 vrk	22 vrk	
Kasa 1	64	61	50	50	49	55	57	
kasa 2	63	60	50	50	46	55	57	
kasa 3	65	62	50	50	44	52	58	
Ulkolämpötila	-3	-11	-10	-5	-4	-3	-3	

Kasojen 4 - 6 lämpötilat sekä ympäristön lämpötila.

	24 h	48 h	78 h	96 h	5 vrk	6 vrk	7 vrk
	25.1.	26.11.	27.11.	28.11.	29.11. P	30.11.	1.12.
Kasa 4	21	30	40	53	62	57	62
Kasa 5	20	28	43	55	57	58	59
Kasa 6	20	30	43	55	63	59	60
Ulkolämpötila	4	3	2	-1	-1	-2	-3
	9 vrk	11 vrk	12 vrk	13 vrk	16 vrk	20 vrk	
	3.12.	5.12.	6.12.	7.12.	10.12.	14.12.	
Kasa 4	37	12	11	1	2	-2	
Kasa 5	35	7	5	0	2	-2	
Kasa 6	42	10	5	1	2	-2	
Ulkolämpötila	-11	-10	-5	-4	-3	-3	

TS- JA VS-MÄÄRITYSTEN SEKÄ KOSTEUSPITOISUUDEN TULOKSET

Näytteiden TS- ja VS-määrittysten tulokset

	TS%	R1	R2	R3	Ka	Hajonta	VS%	R1	R2	R3	Ka	Hajonta
23.11.	Raakaliete	3,692	3,782	3,657	3,71	0,06		2,975	3,057	2,941	2,99	0,06
	Nestejäte; 0,75 mm	2,401	2,403	2,418	2,41	0,01		1,752	1,756	1,762	1,76	0,01
	Nestejäte; 0,5 mm	2,409	2,411	2,408	2,41	0,00		1,789	1,794	1,793	1,79	0,00
	Kuiva-ainejäte, 0,75 mm	22,625	23,134	22,429	22,73	0,36		20,816	21,241	20,645	20,90	0,31
	Kuiva-ainejäte, 0,5 mm	24,929	24,981	24,913	24,94	0,04		23,345	23,441	23,350	23,38	0,05
29.11.	K1	20,636	20,463	20,583	20,56	0,09		18,717	18,608	18,714	18,68	0,06
	K2	21,149	21,154	20,843	21,05	0,18		19,239	19,288	18,929	19,15	0,19
	K3	20,658	20,788	20,833	20,76	0,09		18,762	18,929	18,994	18,89	0,12
	K4	23,750		23,968	23,86	0,15		22,175		22,308	22,24	0,09
	K5	24,327	24,843	24,034	24,40	0,41		22,673	23,176	22,341	22,73	0,42
	K6	24,298	23,960	23,267	23,84	0,53		22,658	22,299	21,666	22,21	0,50
1.12.	K1	19,669	19,634	19,609	19,64	0,03		17,7152	17,6221	17,6979	17,68	0,05
	K2	20,138	20,428	20,555	20,37	0,21		18,1224	18,4747	18,5617	18,39	0,23
	K3	20,743	20,378	21,426	20,85	0,53		18,6856	18,3713	19,3125	18,79	0,48
	K4	25,492		25,196	25,34	0,21		23,4066	23,0602	23,1717	23,21	0,18
	K5	27,060	27,262	26,711	27,01	0,28		24,9575	25,1703	24,5481	24,89	0,32
	K6	25,792	25,412	25,685	25,63	0,20		23,8526	23,4875	23,7485	23,70	0,19
12.12.	K1	18,862	19,994	20,127	19,66	0,70		16,8301	17,8772	18,0403	17,58	0,66
	K2	20,040	20,406	20,091	20,18	0,20		18,0135	18,3712	18,0609	18,15	0,19
	K3	20,318	20,556	20,239	20,37	0,16		18,2659	18,6197	18,2657	18,38	0,20
	K4	25,235		24,819	25,03	0,29		23,2755	22,7490	22,8526	22,96	0,28
	K5	25,951	26,261	26,278	26,16	0,18		23,8815	24,2521	24,1587	24,10	0,19
	K6	25,501	25,270	25,385	25,39	0,12		23,5911	23,3500	23,4225	23,45	0,12
14.12.	K1	19,797	19,432	19,299	19,51	0,26		17,5936	17,2611	17,0564	17,30	0,27
	K2	19,383	20,009	19,579	19,66	0,32		17,2164	17,7783	17,3990	17,46	0,29
	K3	19,730	19,922	19,885	19,85	0,10		17,6436	17,7324	17,7099	17,70	0,05
	K4	26,671	25,649	26,453	26,26	0,54		24,6893	23,7674	24,4492	24,30	0,48
20.12.	K1	19,397	19,435	19,289	19,37	0,08		17,0898	17,0875	16,8423	17,01	0,14
	K2	20,019	20,551	20,139	20,24	0,28		17,6269	18,2284	17,7267	17,86	0,32
	K3	19,370	19,382	19,278	19,34	0,06		17,0253	17,0710	16,9065	17,00	0,08
	K4	26,904	26,734	26,671	26,77	0,12		24,5227	24,4958	24,3333	24,45	0,10
	K5	27,317	26,792	27,018	27,04	0,26		25,0290	24,5980	24,9692	24,87	0,23
	K6	26,277	26,709	26,442	26,48	0,22		24,0612	24,5689	24,4693	24,37	0,27
13.1.	K1	23,607	23,912		23,76	0,22		20,7459		21,1296	20,94	0,27
	K2	22,950	21,890	22,836	22,56	0,58		20,2621	19,4560	20,1466	19,95	0,44
	K5	29,086	30,081	29,934	29,70	0,54		26,8226	27,6755	27,5250	27,34	0,46
	K6	30,274	31,033	29,493	30,27	0,77		27,9678	28,5693	27,2485	27,93	0,66
	K3 +K4	33,054	31,023	32,914	32,33	1,13		30,0554	28,2379	29,9617	29,42	1,02
	Lopputuote	27,504	27,952	27,669	27,71	0,23		24,3600	24,7442	24,5426	24,55	0,19
	Kutteri	85,315	85,279	85,266	85,29	0,02		84,9326	84,9246	84,8823	84,91	0,03

Lopputuotteen ja kutterinpurun kosteuspitoisuudet

		Hajonta	Ka
Lopputuote	72,50	0,23	72,29
	72,05		
	72,33		
Kutteri	14,69	0,02	14,71
	14,72		
	14,73		

MIKROBIOLOGISTEN ANALYYSIEN TULOKSET (KASAT 1 - 3)

Kasojen 1 - 3 *E. coli* -pitoisuudet rinnakkaisnäytteissä yksikössä pmy/g. Laimennusker-
toimet on otettu huomioon rinnakkaismaljojen osalta.

	Kompostointi- aika (vrk)	pmy/g					
K1	0	3000	2600	2091	1682	2591	
	7	14	14	5	<1	14	5
	22	14	9	<1	23	18	268
K2	0	5100	4100	2273	4136	3045	
	7	<1	<1	5	9	14	9
	22	141	5	5	14	<1	9
K3	0	5000	2900	2864	4773	4500	
	7	<1	5	<1	23	<1	<1
	22	5	<1	5	<1	<1	32

Vastaavasti kasojen 1 - 3 koliformipitoisuudet. Vaaleanpunaisella merkityt tulokset ovat menneet yli määrittäysrajan (> 150/malja).

	Kompostointi- aika (vrk)	pmy/g					
K1	0	8200	4900	2500	2182	3227	
	7	14	14	5	<1	14	5
	22	91	21000	3175	445	15000	464
K2	0	6100	5000	2636	5409	3545	
	7	<1	5	5	9	14	9
	22	791	968	327	859	2800	32000
K3	0	6000	3900	3636	6273	12045	
	7	<1	5	<1	23	<1	<1
	22	150000	93500	150000	150000	150000	93500

MIKROBIOLOGISTEN ANALYYSIEN TULOKSET (KASAT 4 - 6)

Kasojen 4 - 6 *E. coli* -pitoisuudet rinnakkaisnäytteissä yksikössä pmy/g. Laimennusker-
toimet on otettu huomioon rinnakkaismaljojen osalta.

	Kompostointi- aika (vrk)	pmy/g					
		K4	0	3800	2100	2636	1636
	5	127	27	86	36	5	77
K5	0	1800	2200	3773	2000	3045	
	5	27	67	18	41	32	18
K6	0	3700	3000	2364	2136	1909	
	5	18	32	41	41	27	73

Vastaavasti kasojen 4 - 6 koliformipitoisuudet.

	Kompostointi- aika (vrk)	pmy/g					
		K4	0	4600	2700	3227	1818
	5	145	41	91	45	45	127
K5	0	4900	3000	4409	2409	3227	
	5	55	67	23	45	32	32
K6	0	4000	4500	3000	2364	6091	
	5	23	36	45	41	27	82