

# MTT | RAPORTTI 82

---

## **Biokaasulaitosten lopputuotteet lannoitevalmisteina**

**Sanna Marttinen, Teija Paavola, Satu Ervasti, Tapio Salo, Petri Kapuinen, Jukka Rintala,  
Minna Vikman, Anu Kapanen, Merja Torniainen, Liisa Maunuksela, Kimmo Suominen,  
Leena Sahlström ja Mirkka Herranen**



## **Biokaasulaitosten lopputuotteet lannoitevalmisteina**

**Sanna Marttinen, Teija Paavola, Satu Ervasti, Tapio Salo, Petri Kapuinen, Jukka Rintala,  
Minna Vikman, Anu Kapanen, Merja Torniainen, Liisa Maunuksela, Kimmo Suominen,  
Leena Sahlström ja Mirkka Herranen**

ISBN: 978-952-487-431-1 (Painettu)

ISBN: 978-952-487-432-8 (Verkkajulkaisu)

ISSN 1798-6419

<http://www.mtt.fi/mtraportti/pdf/mtraportti82.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Sanna Marttinen, Teija Paavola, Satu Ervasti, Tapio Salo, Petri Kapuinen, Jukka Rintala, Minna Vikman, Anu Kapanen, Merja Tornainen, Liisa Maunuksela, Kimmo Suominen, Leena Sahlström ja Mirikka Herranen

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2013

Kannen kuva: Roni Lehti

---

# Biokaasulaitosten lopputuotteet lannoitevalmisteina

---

Sanna Marttinen<sup>1</sup>, Teija Paavola<sup>1</sup>, Satu Ervasti<sup>1</sup>, Tapio Salo<sup>1</sup>, Petri Kapuinen<sup>1</sup>, Jukka Rintala<sup>1</sup>,  
Minna Vikman<sup>2</sup>, Anu Kapanen<sup>2</sup>, Merja Torniainen<sup>3</sup>, Liisa Maunuksela<sup>3</sup>, Kimmo Suominen<sup>3</sup>,  
Leena Sahlström<sup>3</sup> ja Mirkka Herranen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MTT, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>2</sup>VTT, Tietotie 2, PL 1000, 02044 VTT, etunimi.sukunimi@vtt.fi

<sup>3</sup>Evira, Mustialankatu 3, 00790 Helsinki, etunimi.sukunimi@evira.fi

## Tiivistelmä

Biokaasulaitosten lopputuotteiden käyttöä tutkittiin kasvinravitsemuksen ja maatalouden näkökulmasta. Työssä pyrittiin löytämään tyypelle ja fosforille yleispätevät analyysimenetelmät, jotka soveltuvat erityyppisten lannoitevalmisteiden lannoitusvaikutuksen ennustamiseen. Samalla tutkittiin myös tuotteiden hajoamista maaperässä. Työhön sisältyi sekä laboratorio- että kenttämittakaavan kokeita. Lisäksi tutkittiin tuotteiden stabiilisuutta ja mahdollista toksisuutta kasveille sekä selvitettiin haitallisten aineiden ja mikrobiologisen riskin esiintymistä niissä. Tavoitteena oli tarjota tietoa tuotteiden ominaisuuksista ja käytettävyydestä niiden valmistajille, käyttäjille sekä valvoville viranomaisille.

Testatuista analyysimenetelmistä 1:60-vesiuutto oli paras yleismenetelmä kuvaamaan kasvukauden aikana kasvien käytettävissä olevan liukoisen typen määrää erityyppisillä orgaanisilla lannoitevalmisteilla. Nestemäisissä lannoitevalmisteissa tyyppi on nopeammin kasveille käyttökelpoisessa muodossa kuin kiinteillä lannoitevalmisteilla ja tuotantovaikutus on verrattavissa mineraalilannoitteiden vaikutukseen. Kiinteiden orgaanisten lannoitevalmisteiden tuotantovaikutus on hieman alhaisempi kuin mineraalilannoitteiden vaikutus, koska ne levitetään pintalevityksenä ja sekoitetaan tasaisesti koko muokkauskerrokseen. Niiden saatavuus kasveille on siten huonompi kuin sijoitetulla mineraalilannoitteella. Kiinteät lannoitevalmisteet sisältävät runsaasti kokonaisfosforia, mutta sen liukoisuus on alhainen. Liukenemista voi kuitenkin tapahtua pitkän ajan kuluessa, jolloin vesiuutto aliarvioi fosforin käyttökelpoisuuden. Etenkin nykyisin lannoitevalmistelain käyttämä 1:5 aliarvioi selvästi fosforin käyttökelpoisuutta. Koska orgaanisten lannoitevalmisteiden satovaste on herkempi olosuhteiden vaihtelulle kuin mineraalilannoitteiden, on suositeltavaa käyttää levitysstrategiaa, jossa osa liukoisesta tyypestä tulee orgaanisesta lannoitevalmisteesta ja osa mineraalilannoitteesta. Lainsäädännön rajoitusten takia on käytettävä viiden vuoden tasausjaksoa, jolloin käyttömäärä on sama kuin jos orgaaninen lannoitevalmiste olisi ainoa typen lähde. Nestemäiset paljon ammoniumtyyppiä sisältävät lannoitevalmisteet tulisi levittää sijoittamalla ja kiinteät tuotteet tulisi mullata välittömästi pintalevityksen jälkeen haihtumisesta johtuvien ammoniakkitappioiden minimoimiseksi.

Biokaasulaitosten lopputuotteet kasvinravinnekäytössä eivät nosta peltomaan mikrobiologista aktiivisuutta merkittävästi, eikä stabiilisuuden mittaaminen näin ollen ole välttämätöntä tuotteiden maatalouskäytössä. Myöskään merkittävää haitallisuutta kasveille eli fytotoksisuutta ei havaittu. Tuotteet eivät ole myrkyllisiä biotesteissä kasvinravinnekäyttöä vastaavissa pitoisuuksissa. Biokaasulaitosten raaka-aineet voivat sisältää ihmis-, eläin- tai kasviperäisiä taudinaiheuttajia sekä haitallisia orgaanisia aineita. Laadun varmistamiseksi tulisikin erityisesti huomioida: raaka-ainevalinta, tehokas esikäsitely (mm. partikkelikoko), käsittelyprosessin optimointi (varsinkin lämpötila ja aika), ohivirtauksien ja ristikontaminaation estäminen. Asianmukaisesti käsiteltyjä biokaasulaitosten lopputuotteita voidaan tämän tutkimuksen tulosten perusteella pitää turvallisina lannoitevalmisteina.

## Avainsanat:

Biokaasulaitos, lannoitevalmiste, lannoite, maanparannusaine, ravinteiden kierrätys

---

# Fertiliser products from biogas plants

---

Sanna Marttinen<sup>1</sup>, Teija Paavola<sup>1</sup>, Satu Ervasti<sup>1</sup>, Tapio Salo<sup>1</sup>, Petri Kapuinen<sup>1</sup>, Jukka Rintala<sup>1</sup>,  
Minna Vikman<sup>2</sup>, Anu Kapanen<sup>2</sup>, Merja Torniainen<sup>3</sup>, Liisa Maunuksela<sup>3</sup>, Kimmo Suominen<sup>3</sup>,  
Leena Sahlström<sup>3</sup> and Mirikka Herranen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MTT, FI-31600 Jokioinen, firstname.lastname@mtt.fi

<sup>2</sup>VTT, Tekniikantie 4 A, PL 1000, FI-02044 VTT, firstname.lastname@mtt.fi

<sup>3</sup>Evira, Mustialankatu 3, FI-00790 Helsinki, firstname.lastname@mtt.fi

## Abstract

The use of end-products from biogas plants was studied from the perspective of plant nutrition and agriculture. The tasks included development of generally applicable methods for determining nitrogen and phosphorus in different fertiliser products in order to predict their fertiliser effect. The degradation of the products in soil was also studied. The work included both laboratory and field scale experiments. Additionally, the stability and possible phytotoxicity of the products was studied. The content of harmful contaminants and microbiological risks of the products were determined. The aim was to offer information on the characteristics and usability of the products for producers and users of the products and for supervising officials.

Of the analysis methods tested, 1:60 water extraction was the best general method to describe the content of soluble, plant-available nitrogen in different organic fertiliser products. In liquid fertiliser products, nitrogen is more readily available for plants than in solid products and the fertilising effect is comparable to that of mineral fertilisers. The fertilising effect of solid organic fertiliser products is somewhat lower than that of mineral fertilisers due to surface application and mixing into the cultivation layer. This results in lower plant-availability than with mineral fertilisers which are injected into soil. Solid products contain significant amounts of total phosphorus, the solubility of which is low. As it may be solubilised over long periods of time, the 1:5 water extraction required by the current Finnish legislation of fertiliser products underestimates the usability of phosphorus. Due to the more sensitive yield response of organic fertiliser products to changes in conditions, as opposed to mineral fertilisers, it is also recommended to use an application strategy in which part of the soluble nitrogen originates from organic fertilisers and part from mineral fertilisers. Also due to legislative limitations, a balancing period of five years is required resulting in the same amount of fertiliser used as with the organic fertiliser as the sole nitrogen source. Liquid fertilisers with high concentration of ammonium nitrogen should be applied by injection and solid fertilisers should be mulched immediately after surface application in order to minimise nitrogen losses via ammonia evaporation.

The use of end-products from biogas plants in plant nutrition do not significantly increase the microbiological activity of field soils. Thus, the measurement of stability is not necessary in agricultural use. No significant phytotoxicity was detected, either. The products are not toxic in the concentrations used in plant nutrition. The substrates of biogas plants may contain pathogens and organic compounds originating from humans, animals and plants. In order to ensure high quality of the products the following should be considered; choice of substrates, efficient pre-treatment (e.g. particle size), optimisation of the digestion process (esp. temperature and time) and prevention of bypass and cross-contamination. Based on the results of this study, properly treated end-products from biogas plants may be considered safe fertiliser products.

## Keywords:

Biogas plant, fertiliser product, fertiliser, soil improver, nutrient recycling

---

## Alkusanat

---

Tässä raportissa esitellyt tutkimukset toteutettiin osana Biokaasuprosessin materiaalivirtojen tuotteistaminen (BIOVIRTA) – projektia, jonka tavoitteena oli kehittää teknologioita ja käytäntöjä, joilla erityyppisiä orgaanisia sivutuotteita ja jättemateriaaleja voidaan hyödyntää biokaasulaitoksissa, ja joilla niistä voidaan jatkojalostaa kilpailukykyisiä ja turvallisia tuotteita erilaisiin käyttökohteisiin. Projektia koordinoi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT) yhteistyökumppaneinaan Jyväskylän yliopisto, VTT Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Elintarviketurvallisuusvirasto (Evira) sekä lukuisa joukko yrityksiä, jotka edustivat biokaasualan kokonaisketjua. Projekti sai rahoitusta Tekesin BioRefine-ohjelmasta, tutkimuksen toteuttaneilta tutkimuslaitoksilta sekä 13 yritykseltä: Biokymppi Oy, Biolan Oy, Biovakka Suomi Oy, Finnamyl Oy, Genencor International Oy, Honkajoki Oy, Lakeuden Etappi Oy, Lapuan Peruna Oy, Rautakesko Oy, Sybimar Oy, Turun Seudun jätehuolto Oy, UPM Kymmene Oy, Watrec Oy.

Raportissa esitellään biokaasulaitoksissa jättemateriaaleista jalostettavien tuotteiden ominaisuuksia ja niiden lannoitevalmistekäyttöä. Biokaasulaitosten lopputuotteet kasvinravinteina –osion toteutti MTT, lopputuotteiden stabiilisuutta- ja toksisuutta tutkivat VTT ja Evira ja haitta-aineita sekä mikrobiologista riskiä MTT ja Evira. Toivomme tämän raportin osaltaan edistävän jäteperäisten ravinteiden kierrätystä ja biokaasuteknologian mahdollisuuksien hyödyntämistä siinä.

Kiitämme lämpimästi kaikkia yhteistyökumppaneitamme aktiivisesta osallistumisesta projektin toteutukseen.

Jokioisilla 7.1.2013

Tekijät

---

# Sisällysluettelo

---

1 Johdanto.....	7
2 Lainsäädäntö.....	8
3 Biokaasulaitosten lopputuotteiden valmistus ja ominaisuudet.....	12
4 Biokaasulaitosten lopputuotteet kasvinravinteina .....	14
4.1 Ravinteiden analyysimenetelmien vertailu .....	14
4.1.1 Tausta ja tavoite .....	14
4.1.2 Materiaalit ja menetelmät.....	14
4.1.3 Tulokset.....	16
4.1.4 Yhteenveto .....	18
4.2 Hiilen ja typen mineralisaatio .....	19
4.2.1 Tausta ja tavoite .....	19
4.2.2 Menetelmät.....	19
4.2.3 Tulokset.....	19
4.2.4 Johtopäätökset.....	21
4.3 Eri analyysimenetelmien soveltuvuus liukoisen typen tuotantovaikutuksen ennustamiseen.....	21
4.3.1 Tausta ja tavoite .....	21
4.3.2 Materiaalit ja menetelmät.....	22
4.3.2.1 Typen käyttöstrategian valinta .....	22
4.3.2.2 Kenttäkokeen järjestelyt.....	22
4.3.3 Tulokset.....	25
4.3.4 Yhteenveto .....	29
5 Biokaasulaitosten lopputuotteiden stabiilisuus ja toksisuus sekä mikrobiologinen riskinarviointi.....	31
5.1 Tausta ja tavoite .....	31
5.2 Taudinaiheuttajat.....	31
5.2.1 Taudinaiheuttajat orgaanisissa jätteissä .....	31
5.2.1.1 Ihmis- ja eläinperäiset taudit .....	31
5.2.1.2 Kasvitautilien aiheuttajat .....	34
5.2.2 Taudinaiheuttajien ominaisuudet .....	34
5.2.3 Indikaattorimikrobit .....	36
5.3 Materiaalit ja menetelmät.....	36
5.3.1 Stabiilisuus- ja toksisuus .....	37
5.3.2 Hygienianäytteet .....	38
5.4 Tulokset.....	38
5.4.1 Hygieenisuus.....	38
5.4.2 Stabiilisuus ja toksisuus .....	44
5.4.2.1 Hiilidioksidintuottotesti.....	44
5.4.2.2 Akuutti myrkyllisyys.....	44
5.4.2.3 Krassin siementen itävyydesti .....	47
5.4.2.4 Kasvatuskoe.....	51
5.5 Yhteenveto .....	55
6 Orgaaniset haitta-aineet biokaasulaitosten lopputuotteissa .....	57
6.1 Tausta ja tavoite .....	57
6.2 Materiaalit ja menetelmät.....	57
6.3 Tulokset.....	58
6.4 Yhteenveto .....	63
7 Johtopäätökset ja suositukset.....	64
Kirjallisuus .....	66

---

# 1 Johdanto

---

Biohajoavia jätteitä koskeva ympäristölainsäädäntö kiristyi Suomessa vuosituhaten vaihteessa. Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (861/1997) rajoitti voimakkaasti biojätteiden sijoittamista kaatopaikoille, mikä loi tarpeen biojätteiden käsittelylaitosten perustamiselle ja niiden tuotteiden hyödyntämiselle kasvinravitsemuksessa. Vuonna 2005, kun rajoitukset astuivat voimaan, tilanne toimialalla oli sekava. Toiminnassa oli muutamia kompostointilaitoksia, jotka valmistivat jätepohjaisista raaka-aineista ravinnetuotteita lähinnä viherrakentamiseen. Maatalouskäyttöön oli lannan lisäksi päätynyt lähinnä puhdistamolietteitä, eikä tuotteiden valmistusta tai laatua juurikaan valvottu. Samaan aikaan Suomessa astui voimaan EU:n direktiiviin pohjautuva eläinperäisten sivutuotteiden käsittelyä ja hyödyntämistä säätelevä sivutuoteasetus ((EY) N:o 1774/2002) ja valmisteltiin kansallista lannoitevalmistelainsäädäntöä, joka laajensi lainsäädännön koskemaan myös muista kuin eläinperäisistä raaka-aineista valmistettuja maataloudessa ja viherrakentamisessa käytettäviä tuotteita. Ensimmäisiä ravinnetuotteiden valmistukseen tarkoitettuja biokaasulaitoksia suunniteltiin tilanteessa, jossa tulevan lainsäädännön vaatimuksista ei ollut tietoa. Epäselvässä tilanteessa jätepohjaisten ravinnetuotteiden käyttö maataloudessa v. 2005 oli vähäistä ja niiden maatalouskäytön pelättiin käyvän mahdottomaksi lainsäädännön vaatimusten takia. Lannoitevalmistelainsäädännön voimaantulo 2006 - 2007 selkeytti tilannetta luomalla alalle pelisäännöt ja spesifioimalla tuotekohtaisia vaatimuksia tuotteiden eri käyttökohteisiin. Koska biokaasu- ja muiden käsittelyprosessien tuotteista oli siinä vaiheessa saatavilla vain vähän tutkimustietoa tai käyttökokemuksia, perustui lainsäädäntö mm. tuotteiden laatuvaatimusten ja testausmenetelmien osalta osittain kokemuksiin muilla menetelmillä valmistetuista lannoitevalmisteista. Esimerkiksi tämän projektin alkaessa vuonna 2008, lannoitevalmistelainsäädäntö ei tuntenut mädätysjäännöksen hyödyntämistä sellaisenaan lainkaan. Toimijoiden, viranomaisten, ja tutkijoiden yhteistyön ja ymmärryksen lisääntymisen myötä toimintatapoja ja lainsäädäntöä on kehitetty kaikkia osapuolia paremmin palvelevaksi. Vuonna 2011 jätepohjaisista raaka-aineista ravinnetuotteita valmistavia biokaasulaitoksia oli toiminnassa jo kymmenkunta ja niiden lopputuotteista merkittävä osa hyödynnettiin maataloudessa.

Uudet lannoitevalmisteet ovat muuttaneet myös alan terminologiaa. Esimerkiksi lannan lannoitevaikutuksesta puhuttaessa on puhuttu perinteisesti liukoisesta tyypestä, joka analysoidaan ainoastaan ammoniumtyypen tunnistavalla menetelmällä (lanta-analyysi). Lannassa kaikki liukoinen tyyppi onkin käytännössä ammonium-muodossa. Muista raaka-aineista valmistetut tuotteet sisältävät kuitenkin vaihtelevia määriä nitraattitypeä ja liukoista orgaanista tyypeä, jotka myös ovat kasveille käyttökelpoisia. Lanta-analysimenetelmä ei sovellu ennustamaan näiden tuotteiden lannoitusvaikutusta kasveille, minkä takia tarvitaan uusia menetelmiä. Terminologia on käytännössä edelleen häilyvää, kirjallisuudessa liukoinen tyyppi esiintyy eri sisältöisenä ja laboratorioden käyttämät analyysimenetelmät eroavat toisistaan.

Jättemateriaalien sisältämien fosforin ja typen hyödyntäminen on noussut jätepolitiikan keskeiseksi tavoitteeksi. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää ravinteiden talteenottoteknologioiden ja uusien ravinnetuotteiden kehittämistä. Suomi on ollut edelläkävijä jätepohjaisten ravinnetuotteiden hyödyntämisessä maataloudessa. Raportin kirjoittamisen hetkellä Euroopassa valmisteltiin vastaavaa lannoitevalmistelainsäädäntöä, mikä Suomessa on ollut käytössä jo useita vuosia.

Tässä työssä biokaasulaitosten lopputuotteiden käyttöä tutkittiin kasvinravitsemuksen ja maatalouden näkökulmasta. Työssä pyrittiin löytämään tyyple ja fosforille yleispätevät analyysimenetelmät, jotka soveltuvat erityyppisten lannoitevalmisteiden lannoitusvaikutuksen ennustamiseen. Työssä tutkittiin myös tuotteiden hajoamisen vaikutusta maan epäorgaanisen typen pitoisuuksiin. Työhön sisältyi sekä laboratorio- että kenttämittakaavan kokeita. Lisäksi tutkittiin tuotteiden stabiilisuutta ja mahdollista toksisuutta kasveille sekä selvitettiin niiden sisältämiä haitallisia aineita ja mikrobiologista riskiä. Tämä työ oli ensimmäisiä laajamittaisia tutkimuksia aiheesta Suomessa ja sen tavoitteena oli tarjota tietoa biokaasulaitosten lopputuotteiden ominaisuuksista ja käytettävyydestä niiden valmistajille, käyttäjille sekä valvoville viranomaisille.



---

## 2 Lainsäädäntö

---

Biokaasulaitosten lannoitevalmistekäyttöön tarkoitettujen käsittelyjäännösten käsittelystä ja tuotteistamisesta on säädetty kansallisessa lannoitevalmistelaissa 539/2006 ja Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista 24/11 sekä EU:n jäsenmaita koskevassa Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (EY) N:o 1069/2009 (ns. sivutuoteasetus) ja sitä täydentävässä komission asetuksessa (EU) N:o 142/2011. Kansallisessa lainsäädännössä on määräyksiä sekä toiminnanharjoittamisesta että lopputuotteen laatuvaatimuksista. Myös lopputuotteiden käyttöä on kansallisesti säädelty tietyin osin. EY-asetuksen 1069/2009 tarkoituksena on eläintautien ja zoonoosien leviämisen estäminen. Sivutuoteasetuksessa on yksityiskohtaisia vaatimuksia eläimistä saatavien sivutuotteiden kuljettamiselle, varastoinnille, käsittelylle ja käsiteltyjen tuotteiden hygieenisyydelle. Lisäksi kansallisessa lainsäädännössä on annettu vaarallisia kasvintuhoojia sisältävälle kasvimateriaalille käsittelyvaatimukset. Käytännössä kummankin lainsäädännön tavoitteena on, että käytettävät lannoitevalmisteet ovat turvallisia, eivätkä aiheuta haittaa tai vaaraa ihmisille, eläimille tai ympäristölle.

Biokaasulaitoksia koskevat lainsäädännön vaatimukset voidaan jakaa kahteen ryhmään: käsittelyvaatimuksiin ja tuotevaatimuksiin. Käsittelyvaatimukset määräytyvät raaka-aineen perusteella ja ovat joko kansallisia tai sivutuoteasetuksen mukaisia (taulukko 1). Kansallisen lainsäädännön mukaan prosessi voi olla meso- tai termofiilinen, mutta lannoitevalmisteena käytettävän käsittelyjäännöksen edellytetään täyttävän lain vaatimukset siten, että lopputuote ei sisällä haitallisia aineita, eliöitä tai epäpuhtauksia yli sallitun enimmäismäärän. Sivutuoteasetuksessa on määritelty eri sivutuoteluokat ja niitä koskevat käsittelyvaatimukset. Eläimistä saatavia sivutuotteita käsiteltäessä noudatetaan aina sivutuoteasetuksen vaatimuksia. Biokaasulaitoksessa on mahdollista käsitellä luokkiin 2 ja 3 kuuluvia eläimistä saatavia sivutuotteita, kun käsittely tehdään vaatimusten mukaisesti.

Lainsäädäntöön perustuvien vaatimusten lisäksi on annettu suosituksia mm. jätevedenpuhdistamolietteen käsittelylle. Teknisen raportin puhdistamolietteiden käsittelystä on laatinut Euroopan standardointikomitea. Siinä on kuvattu mm. biokaasuprosessin olosuhteiden vaikutukset erilaisten taudinaiheuttajien tuhoutumiseen (EU komission Working document 2010). Termofiilisen biokaasuprosessin todetaan vähentävän suurimman osan käsiteltävässä materiaalissa olevista bakteereista ja viruksista. Mesofiilisen prosessin mainitaan olevan tehottomampi. Sillä ei saada tuhattua taudinaiheuttajia kokonaan.

Taulukko 1. Esimerkkejä raaka-ainekohtaisista käsittelyvaatimuksista biokaasulaitoksissa lainsäädäntö ja suositukset huomioiden.

Raaka-aine	Käsittelyvaatimus	Vaatimuksen peruste
Jätevedenpuhdistamoliete	Meso- tai termofiilinen biokaasuprosessi. Lopputuotteen on täytettävä lainsäädännön hygieniavaatimukset (taulukko b).	Lannoitevalmistelainsäädäntö <sup>(*)</sup> lannoitevalmistelaki 539/2006 MMM asetus lannoitevalmisteista 24/11
Riskitön kasvimateriaali esim. säilörehu (ei sisällä kasvitaudin aiheuttajia)	Meso- tai termofiilinen biokaasuprosessi. Lopputuotteen on täytettävä lainsäädännön hygieniavaatimukset (taulukko b).	Lannoitevalmistelainsäädäntö lannoitevalmistelaki 539/2006 MMM asetus lannoitevalmisteista 24/11
Peruna-, juurikas- ja juuresteollisuuden, -kuorimoiden ja -pakkaamoiden sivutuotteet ja jätteet sekä erilliskerätty biojäte	Kuumennuskäsittely (70°C, 1 h, partikkelikoko 12 mm) tai muu kasvin-suojeluviranomaisen hyväksymä menetelmä. Kuumennuskäsittely voidaan tehdä ennen tai jälkeen biokaasuprosessia.	Lannoitevalmistelainsäädäntö MMM asetus lannoitevalmisteista 24/11
Eläimistä saatavat sivutuotteet, <u>luokka 2</u> esim. tuotteet, jotka sisältävät sallittujen aineiden tai vieraiden aineiden jäämiä yli sallitun tason ravinnoksi kelpaamattomat epäpuhtauksia sisältävät eläinperäiset tuotteet lopetetut tai itsestään kuolleet eläimet, mukaan lukien tautitorjunnan takia lopetetut eläimet	Painesterilointi (133°C, 20 min, 3 bar, palakoko 50 mm), painesterilointi (vaatimusta ei sovelleta lantaan, maitoon tai ternimaitoon). Painesterilointi on tehtävä ennen biokaasuprosessia. Painesteriloinnin jälkeen voidaan käyttää raaka-aineena biokaasulaitoksessa.	EYasetus 1069/2009 ja EU asetus 142/2011
Poikkeukset; lanta maito tai ternimaito	Hygienisointi (70°C, 1 h) ja biokaasuprosessi tai kansallisesti <sup>(*)</sup> hyväksytty käsittely ilman hygienisointia meso- tai termofiilisessä prosessissa.	*Kansallinen käsittelyvaatimus, voidaan käyttää lannoitevalmisteena vain Suomessa.
Eläimistä saatavat sivutuotteet, <u>luokka 3</u> esim. entiset eläinperäiset elintarvikkeet (mm. kaupan erilliskerätty biojäte) lihantarkastuksen läpikäyneet teuraseläinten osat, jotka on todettu ihmisravinnoksi kelpaaviksi/kelpaamattomaksi, mutta joita eivät kaupallisista syistä tai muutoin soveltu ihmisravinnoksi ante mortem-tarkastettujen muiden kuin märehitijöiden veri tuotteet, jotka saatu elintarvikkeiden tuotannosta, mm. rasvan poistossa syntyvä proteiinijäännös, luut, joista poistettu rasva raakamaito eläimistä, joilla ei ole klinisiä merkkejä ihmisiin tai eläimiin tarttuvista taudeista kaupallisista syistä ravinnoksi soveltumaton rehu, jossa ole todettu terveystarvettä kala-alan laitoksista ja kalastusaluksista mm. kalanperkuujäte munapakkaamoista ja munavalmistelaitoksista mm. hautomoiden sivutuotteet, muni- en kuoret ja munajäte	Hygienisointi (70°C, 1 h, palakoko 12 mm), voidaan soveltaa myös muita asetuksen sallimia käsittelyvaatimuksia tai validoida prosessi. Hygienisointiyksikkö voi olla ennen tai jälkeen biokaasuprosessin.	EY asetus 1069/2009 ja EU asetus 142/2011
Poikkeukset; ruokajäte (mm. kotitalouksien erilliskerätty biojäte)	Hygienisointi (70°C, 1 h) ja biokaasuprosessi tai kansallisesti <sup>(*)</sup> hyväksytty käsittely ilman hygienisointia termofiilisessä prosessissa. Lopputuotteen on täytettävä lainsäädännön hygieniavaatimukset.	*Kansallinen käsittelyvaatimus, voidaan käyttää lannoitevalmisteena vain Suomessa.

Tuotevaatimukset koskevat taudinaiheuttajien enimmäismääriä, epäpuhtauksia ja haitallisia metalleja. Taudinaiheuttajien seurannassa edellytetään sekä kansallisen lainsäädännön että sivutuoteasetuksen mukaan tiettyjen indikaattoribakteerien ja taudinaiheuttajien vähenemisen seurantaa (taulukko 2). Kansallinen lainsäädäntö edellyttää näiden vähenemisen todentamista lannoitevalmisteena käytettävästä lopputuotteesta. Sivutuoteasetus sen sijaan edellyttää käsittelymenetelmän riittävyyden varmentamista joko käsittelyn aikana tai välittömästi sen jälkeen. Indikaattorimikrobeina ovat käytössä *Escherichia coli* ja salmonella. Sivutuoteasetuksessa on myös vaatimus itiöitä muodostavien bakteerien ja myrkyllisten aineiden muodostumisen vähentämisen todentaminen, mikäli ne on todettu merkittäväksi vaaraksi raaka-aineessa. Ko. vaatimus koskee ainoastaan lantaperäisiä tuotteita. Lisäksi kansallinen lainsäädäntö edellyttää tiettyjen kasvitautinaiheuttajien tuhoutumista (MMM 24/11).

Taulukko 2. Taudinaiheuttajien enimmäismäärät.

Taudinaiheuttaja	Lannoitevalmistelainsäädäntö MMM 24/11	EY-asetus 1069/2009 ja 142/2011
Salmonella, 25 grammassa näytettä	Ei todennettavissa (lopputuotteessa)	Ei todennettavissa (varastoinnin aikana tai varastosta oton yhteydessä)
Escherichia coli, pmy/g	Enintään 1000 pmy/g ja alle 100 pmy/g ammattimaiseen kasvihuoneviljelyyn tarkoitetuissa kasvualustoissa, joissa syötävät kasvinosat ovat suoraan kosketuksissa kasvualustaan.  (lopputuotteessa)	Enintään 1000 pmy/g  (käsittelyn aikana tai välittömästi sen jälkeen, 5:ssä näytteessä yhdessä saa olla alle 5000 pmy/g, ko. poikkeus ei koske lantatuotteita).  Voidaan analysoida <i>E. coli</i> bakteerin asemasta myös enterokokki bakteereja samoin laatuksiteerein.
Sulfiitteja pelkistävät klostridit		Käsiteltävä itiöitä muodostavien bakteerien ja myrkyllisten aineiden muodostumisen vähentämiseksi, jos ne on todettu merkittäväksi vaaraksi. (lantatuotteet).
Juuripoltesieni	Ei todennettavissa taimituotannossa käytettävissä kasvualustoissa	-
Keltaperuna-ankerooinen ( <i>Globodera rostochiensis</i> ), Valkoperuna-ankerooinen ( <i>Globodera pallida</i> ), Perunan vaalea rengasmätä ( <i>Clavibacter michiganensis</i> ), Perunan tumma rengasmätä ( <i>Ralstonia solanacearum</i> ), Perunasyyöpä ( <i>Synchytrium endobioticum</i> ), Juurikkaan nekroottinen keltasuonivirus ( <i>Beet necrotic yellow vein virus</i> ) ”Ritsomania”  Juuriäkämäankerooinen ( <i>Meloidogyne spp.</i> )	Ei todennettavissa juures-, juurikas- ja perunaraaka-aineesta tai näiden mukana tehtaalte tai kuorimoon tulevista multajakeista valmistetuissa lannoitevalmisteissa.	-
Muut kasvitauteja aiheuttavat karanteenituhoajat	Ei todennettavissa kasvihuonetuotannon kasvijätteestä tai kasvualustoista valmistetuissa lannoitevalmisteissa.	-

Epäpuhtauksia koskevat vaatimukset koskevat mm. rikkakasvinsiementen ja roskien enimmäismäärää sekä hukkakauraa ja kasvien osia. Haitallisten metallien enimmäispitoisuuksille on määrätty rajat. Muille haitta-aineille, kuten orgaanisille haitta-aineille, ei sen sijaan ole kansallisessa lainsäädännössä asetettu enimmäispitoisuuksille raja-arvoja.

Tuotevaatimuksia on taudinaiheuttajien ja muiden epäpuhtauksien lisäksi annettu myös tuotteiden käytölle niiden raaka-ainepohjan perusteella sekä tuotteiden erilaisille ominaisuuksille, kuten stabiilisuudelle ja toksisuudelle. Ko. tuotevaatimukset on annettu tyyppinimikohtaisesti. Kansallinen lainsäädäntö edellyttää, että lannoitevalmisteena käytettävillä tuotteilla on oltava tyyppinimi. Lannoitevalmisteet ovat tyyppinimiltään (koodi suluissa): lannoitteita (1), kalkitusaineita (2), maanparannusaineita (3), mikrobivalmisteita (4) tai kasvualustoja (5) (Eduskunta 2006, MMM 2011). Tässä työssä tutkitut biokaasulaitosten lopputuotteet ovat pääosin orgaanisia lannoitevalmisteita ja ne ovat luokitukseltaan orgaanisia lannoitteita (1B), orgaanisia maanparannusaineita (3A2) tai sellaisenaan maanparannusaineena käytettäviä maanparannusaineita (3A5).

Biokaasulaitoksista saatavia tyyppinimen mukaisia lopputuotteita ovat mm. mädätysjäännös, rejektivesi ja kuivarae. Näistä maanparannusaineiksi luokitellaan mädätysjäännös ja kuivarae sekä lannoitteeksi rejektivesi. Mädätysjäännöstä voidaan käyttää lannoitevalmisteena sellaisenaan tai kuivattuna jakeena. Rejektivedestä voidaan puolestaan valmistaa erilaisia nestemäisiä typpi- ja fosforilannoitteita. Rejektiveden käyttö lannoitevalmisteena sellaisenaan on mahdollista ainoastaan silloin, jos laitoksen raaka-aineet ovat eläin- ja/tai kasviperäisiä. Jätevedenpuhdistamolietteiden käyttö raaka-aineena rajoittaa näin ollen rejektiveden käyttöä lannoitevalmisteena. Sen sijaan mädätysjäännöksen ja kuivarakeen käyttö lannoitevalmisteena on mahdollista, vaikka raaka-aineena käytettäisiin puhdistamolietteitä. Biokaasulaitoksista saataville lopputuotteille ei ole asetettu lannoitevalmistelainsäädännössä stabiilisuus- tai toksisuusvaatimuksia.

Euroopan yhteisön tasolla on odotettavissa uusia vaatimuksia mm. lietteiden ja biojätteiden käsittelylle. Haitallisten metallien lisäksi kiinnitetään jatkossa huomiota myös entistä enemmän orgaanisiin haitta-aineisiin ja taudinaiheuttajiin. Eri jäteraaka-aineiden hyötyjä ja haittoja tullaan vertaamaan niiden lannoitekäyttöhyödyt ja niihin liittyvät riskitekijät huomioiden. EU:ssa valmisteilla olevat direktiivit (jätedirektiivi, kaatopaikkadirektiivi, puhdistamoliettedirektiivi) ottavat entistä voimakkaammin kantaa eri jätemateriaalin hyötykäyttöön ja hyödynnettäviä jätejakeita koskeviin käsittely- ja laatuvaatimuksiin (EU komission Working document 2001 ja 2010).

## 3 Biokaasulaitosten lopputuotteiden valmistus ja ominaisuudet

Biokaasuteknologian käyttö maatalouden, teollisuuden ja yhdyskuntien biohajoavien jätteiden ja sivutuotteiden käsittelyssä on kasvussa. Teknologia tuottaa bioenergiaa ja käsittelyjäännyksiä, jonka yleisin hyödyntämistapa tällä hetkellä on käyttö kasvinravinteena maataloudessa ja viherrakentamisessa. Käsittelyjäännykset soveltuu lannoitevalmistekseen sellaisenaan, mutta erityisesti keskitetyillä biokaasulaitoksilla sitä useimmiten jatkojalostetaan käytettävyyden, varastoinnin ja kuljetettavuuden parantamiseksi.

Jatkojalostuksessa käsittelyjäännykset yleensä jaetaan ensin neste- ja kuivajakeeseen. Nestejakeen jatkojalostusmenetelmiä ovat mm. haihdutus, typen strippaus ja kemiallinen saostus, joiden tavoitteena on konsentroida ravinteet pienempään nestetilavuuteen. Kuivajakeita voidaan esim. jälkikompostoida tuotteen stabiilisuuden kasvattamiseksi tai jalostaa kuivarakeiksi termisen kuivauksen ja pelletöinnin avulla.

Eri tuotteet soveltuvat erilaisiin käyttökohteisiin. Käytettävyyden kannalta oleellista on, että tuotteet ovat ravinnepitoisuuksiltaan, ravinteiden käyttökelpoisuudeltaan, stabiilisuudeltaan ja hygieeniseltä laadultaan käyttökohteisiinsa sopivia. Niiden tulee olla myös helposti levitettäviä ja tasalaatuisia, eivätkä ne saa sisältää kasvien kasvua heikentäviä tai ympäristön kannalta haitallisia määriä haitta-aineita. Tuotanto- ja käyttökustannuksiltaan niiden tulee olla kilpailukykyisiä kemiallisiin lannoitteisiin verrattuna.

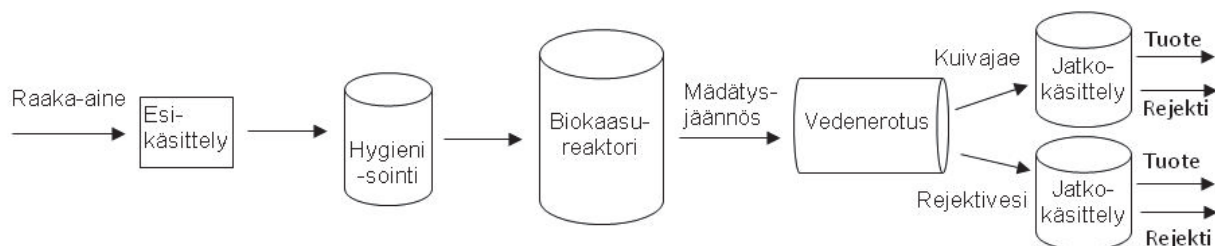
Biokaasulaitoksesta saatavan lopputuotteen laatuun vaikuttavat raaka-aine ja prosessin eri vaiheet. Prosessin toimivuudella on vaikutusta sekä taudinaiheuttajien tuhoutumiseen että valmiin tuotteen käyttökelpoisuuteen kasveille. Taudinaiheuttajien tuhoutumisen kannalta keskeisimmät tekijät ovat käsittelylämpötila ja -aika sekä raaka-aineen sekoittuminen prosessin eri vaiheissa. Arvioitaessa lopputuotteen käyttökelpoisuutta kasveille korostuvat tuotteen stabiilisuuteen vaikuttavat tekijät, kuten käsittelyaika ja tasalaatuisuus sekä ravinteiden käyttökelpoisuus. Ravinteiden kokonaispitoisuus ei muutu prosessissa, mutta erityisesti typen käyttökelpoisuus kasveille parantuu orgaanisen typen liukoistuessa osittain ammoniumtypeksi. Haitta-aineet lopputuotteessa ovat peräisin raaka-aineesta, eikä niiden määrää kaikilta osin voida käsittelyprosessilla vähentää.

Projektin alkaessa v. 2008 Suomessa oli käytössä kolme keskitettyä biokaasulaitosta, jotka tuottivat jättepohjaisista raaka-aineista ravinnetuotteita. Tässä työssä tutkitut lannoitevalmistekset olivat peräisin näiltä laitoksilta (taulukko 3). Kenttäkokeissa oli mukana lisäksi muutamia muita orgaanisia lannoitevalmistekkeitä.

Taulukko 3. Laitosten käsittelemät raaka-aineet prosessit ja ravinnetuotteet vuonna 2010.

	Raaka-aineet	Hygienisoivat prosessit	Ravinnetuotteet
Laitos 1	sian lietelanta (50 %) teollisuuden sivutuotteet (50 %) yhteensä n. 100 000 t/a	Hygienisointiyksikkö (3 kpl): lämpötila 70°C, viipymä 1 h, palakoko 12 mm Reaktori (6700 m <sup>3</sup> ): lämpötila 40°C, viipymä ~25 vrk, täyssekoitteinen	mädätysjäännykset kuivajae rejektivesi
Laitos 2	puhdistamoliete yhteensä n. 65 000 t/a	Terminen hydrolyysi: lämpötila 150-160°C, paine 5-6 bar, viipymä 30 min. Reaktori (2x3500 m <sup>3</sup> ): lämpötila 41-42°C, viipymä ~22 vrk, täyssekoitteinen	kuivajae ammoniumsulfaatti
Laitos 3	erilliskerätty biojäte (20 %) puhdistamoliete (70 %) teollisuuden rasvakaivoliete (10 %) yhteensä n. 55 000 t/a	Reaktori (2x3200 m <sup>3</sup> ): lämpötila 35°C, viipymä ~40 vrk, täyssekoitteinen Terminen kuivaus: lämpötila 80°C	kuivarae

Biokaasulaitosten prosessi koostuu esikäsitteilyistä, biokaasureaktorista ja jälkikäsitteilyistä (kuva 1). Tutkitut laitokset erosivat jonkin verran toisistaan yksikköprosessien osalta. Kaikkien laitosten biokaasureaktorit toimivat mesofiilisella lämpötila-alueella ja reaktorit olivat täyssekoitteisia. Hygienisointi toteutettiin laitoksilla 1 ja 2 ennen reaktoria ja laitoksella 3 jälkikäsitteilyn yhteydessä. Laitoksella 1 viipymä reaktorissa oli n. 25 d, minkä jälkeen seurasi lyhyt jälkikäsuuntumisvaihe. Laitoksilla 2 ja 3 reaktoriin viipymät olivat n. 22 ja 40 d. Kaikilla laitoksilla jälkikäsitteilyn ensimmäinen vaihe oli vedenerotus, jossa käsitelyjäännös erotellaan nestejakeeseen ja kuivajakeeseen. Laitoksilla 1 ja 2 on mahdollisuus jatkojalostaa nestejakeetta, kun taas laitoksella 3 nestejake johdetaan esikäsitteilyn kautta kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle. Kuivajake markkinoidaan sellaisenaan lannoitevalmisteksi laitoksilla 1 ja 2. Laitoksella 3 se jatkojalostetaan kuivarakeeksi termisessä kuivausprosessissa. Laitoksilla muodostuvat tuotteet ja niiden ominaisuudet 3 – 4 näytteenottokerran keskiarvoina on esitetty taulukossa 4. Laitosten prosessit toimivat normaalisti kaikkien näytteenottojen ajankohtina.



Kuva 1. Tyypillinen biokaasuprosessi ja lopputuotteet. (Hygienisointi voidaan toteuttaa myös reaktorin jälkeen).

Taulukko 4. Tutkimuksessa mukana olleet biokaasulaitosten lopputuotteet ja niiden ominaisuuksia (keskihajonta suluissa, n=3-4) ja käyttö.

	Tuote/Nimike	TS	N <sub>tot</sub>	NH <sub>4</sub> -N	P <sub>tot</sub>	P liuk.	K <sub>tot</sub>	Käyttö	Tyyppinimiryhmä
		%	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg		koodi
L1	Mädätys-jäännös	8,9 (0,3)	7,6 (0,01)	5,8 (0,3)	2,0 (0,1)	0,48 (0,04)	1,8 (0,1)	Typpi-fosforilannoite	3A5
	Kuivajake	32 (1,6)	9,0 (0,3)	4,0 (0,3)	6,1 (0,6)	0,12 (0,03)	1,6 (0,1)	Fosforipitoinen maanparannusaine/lannoite	3A5
	Rejektivesi	3,7 (0,4)	7,1 (0,2)	5,8 (0,4)	1,0 (0,1)	0,53 (0,04)	1,7 (0,2)	Typpilannoite	1B4
L2	Kuivajake	26 (0,8)	9,7 (0,6)	2,1 (0,3)	5,8 (1,8)	0,004 (0,001)	0,69 (0,2)	Fosforipitoinen maanparannusaine/lannoite	3A5
	Ammoniumsulfaatti	~0	40-50	40-50	-	-	-	Typpilannoite, teollisuuden ravinne	<sup>1</sup>
L3	Kuivarake	91 (0,9)	30 (1,2)	0,54 (0,05)	9,1 (1,3)	0,001 (0,0005)	2,0 (0,3)	Fosforipitoinen maanparannusaine	3A2

<sup>1</sup> Virallista tyyppinimi hyväksyntää ei ollut

---

## 4 Biokaasulaitosten lopputuotteet kasvinravinteina

---

### 4.1 Ravinteiden analyysimenetelmien vertailu

#### 4.1.1 Tausta ja tavoite

Lannoitevalmisteiden ravinteiden käyttökelpoisuudessa keskityttiin typpeen ja fosforiin. Typen osalta lannoituksen optimointi on tärkeää sekä viljelykasvin sadonmuodostuksen että typen ympäristökuormituksen vuoksi. Fosforin kohdalla on keskeistä arvioida lannoitevalmisteessa lisätyn fosforin pitkäaikainen vaikutus maan kasveille käyttökelpoisen fosforin määrään. Tällä hetkellä maatalouden ympäristötuessa otetaan orgaanisten lannoitevalmisteiden typpilannoitusvaikutus huomioon 1:5 vesiuttoon liukenevan typen (EN 13652; nitraatti, ammonium ja vesiliukoiset orgaaniset typpiyhdisteet) mukaan. Fosforin lannoitusvaikutukseksi määritetään orgaanisilla lannoitteilla sitraattiliukoinen fosfori, puhdistamolietepohjaisilla lannoitevalmisteilla 40 % kokonaisfosforista ja muilla orgaanisilla lannoitevalmisteilla 1:5 vesiuttoon liukeneva kokonaisfosfori (fosfaatti ja vesiliukoiset orgaaniset fosforyhdisteet). Aikaisempien tarkastelujen (Kapuinen ym. 2012) mukaan 1:5 vesiuttoa aliarvioitiin typen ja fosforin lannoitusvaikutusta kiinteistä lannoitevalmisteista. Uutossa liukenevan orgaanisen typen käyttökelpoisuudesta haluttiin myös tarkempia arvioita.

Kokeiden tavoitteena oli löytää analyysimenetelmiä, jotka parhaiten kuvaavat orgaanisina lannoitevalmisteina käytettävien biokaasulaitosten lopputuotteiden kasvinravinnevaikutusta. Analyysimenetelmien avulla arvioitua typpilannoitusvaikutusta testattiin muhutus- (4.2) ja kenttäkokeissa (4.3).

#### 4.1.2 Materiaalit ja menetelmät

Kokeissa käytettiin kolmea erilaista analyysimenetelmää:

##### Lanta-analyysimenetelmä (Kemppainen 1989)

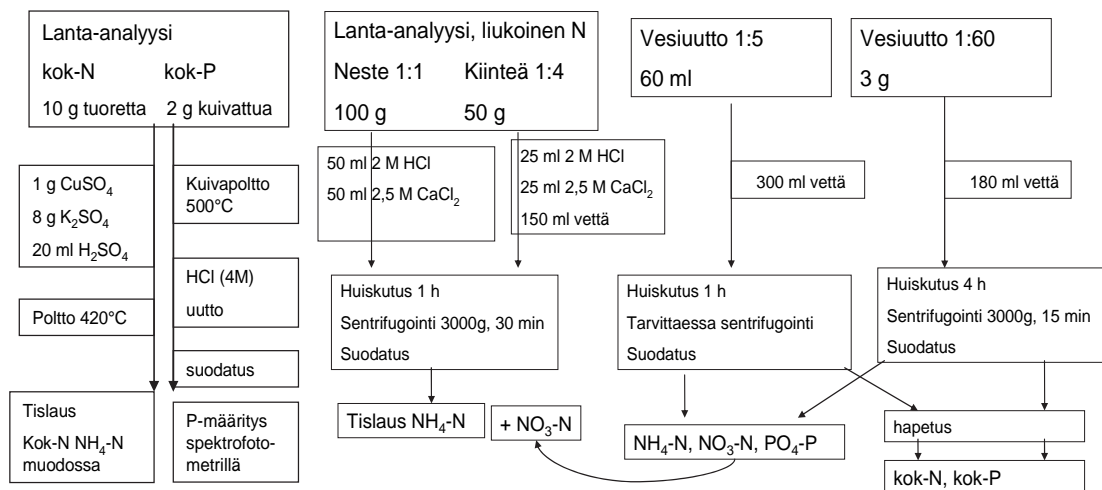
Kemppaisen (1989) kehittämässä lanta-analyysimenetelmässä määritetään kokonaistyyppi Kjeldahl-poltolla, ammoniumtyppi suolahappo-kalsiumkloridiuutolla (pH<1; CaCl<sub>2</sub> 0,2–0,6M) ja kokonaisfosfori kuivapoltolla sekä suolahappouutolla. Osalla näytteistä menetelmään lisättiin myös orgaanisten yhdisteiden hajottaminen Kjeldahl-poltolla suolahappo-kalsiumkloridiuutosta, jolloin määrittämisestä saatiin liukoinen kokonaistyyppi (= liukoinen orgaaninen typpi + ammoniumtyppi + nitraattityppi). Nitraattityppi lisättiin liukoiseen kokonaistyyppiin 1:5 vesiuton nitraattipitoisuuden mukaan. Nitraatin pelkistystä ammoniumiksi ei tislauksen yhteydessä käytetty, koska reaktiot olivat osalla materiaaleista liian voimakkaita.

##### Lannoitevalmistusasetuksen mukainen 1:5 vesiuttoa (EN 13652)

Tilavuussuhteiden 1:5 mukaisessa vesiutossa punnittiin 60 ml:n tilavuutta vastaava määrä lannoitevalmistetta, joka uutettiin 300 ml vesimäärän kanssa. Yhden tunnin huiskutuksen jälkeen näyte suodatettiin huokoskooltaan noin 10 mikrometrin suodatinpaperin läpi. Uutteesta määritettiin ammonium- ja nitraattityppi fotometrisellä menetelmällä ja liukoinen kokonaistyyppi orgaanisen aineksen hajotuksen jälkeen. Orgaanisen aineksen hajotukseen käytettiin sekä peroksidisulfaatti-hapetusta autoklaavissa (SFS 3031) tai Kjeldahl-polttoa. Fosfaattifosfori mitattiin suodatetusta näytteestä fotometrisesti ja liukoinen kokonaisfosfori peroksidisulfaatti-hapetuksen jälkeen (SFS 3026).

##### 1:60 vesiuttoa (Sharpley ja Moyer 2000)

Tehokkaampana vesiutottona käytettiin Hedleyn fraktioinnista (esim. Sharpley ja Moyer 2000) muunneltua 1:60 vesiuttoa. Kolme grammaa lannoitevalmistetta uutettiin 180 ml vesimäärän kanssa neljän tunnin ajan. Huiskutuksen jälkeen liuos sentrifugoitiin ja suodatettiin huokoskooltaan noin 10 mikrometrin suodatinpaperin läpi ja suodoksesta määritettiin samat typen ja fosforin pitoisuudet kuin 1:5 vesiutosta.



Kuva 2. Lannoitevalmisteiden vertailussa käytetyt analyysimenetelmät.

Fosforin liukoisuutta tutkittiin sovelletulla Hedleyn fraktioinnilla (Sharpley ja Moyer 2000). Kuivatusta ( $40^\circ\text{C}$ ) näytteestä irrotettiin fosforia perättäisissä 1:60 (1 g näytettä ja 60 ml uuttoliuosta) uutoissa vedellä, natriumbikarbonaatilla ( $\text{NaHCO}_3$ ), natriumhydroksidillä ( $\text{NaOH}$ ) ja suolahapolla ( $\text{HCl}$ ). Uuttoliuoksis-ta määritettiin epäorgaaninen ja kokonaisfosfori värireaktion avulla spektrofotometrillä. Vesiliukoinen ja natriumbikarbonaattiin liukeneva fosfori arvioidaan yleensä kasveille käyttökelpoiseksi lyhyellä aikajän-teellä. Useiden vuosien kuluessa myös tiukemmin sitoutunutta, natriumhydroksidin uuttamaa, fosforia vapautuu lannoitevalmisteesta maaperään.

Laboratoriokokeissa käytettiin kolmella biokaasulaitoksella (L1, L2, L3) tuotettavia lannoitevalmisteita (taulukko 5). Näytteistä on käytetty merkintöjä:

- EH Ennen hygienisointia raaka-aineesta otettu näyte
- MJ Mädätysjäännös
- RV Rejektivesi
- KJ Kuivajae
- RAE Kuivarae; mädätysjäännöksestä rakeistettu lannoite

Taulukko 5 . Tutkitut lannoitevalmisteet.

Koodi	Tyypinimi	Raaka-aineet	Tuotantomenetelmä tmv.
L1 EH		Sian lietelanta + elintarviketeollisuuden sivutuotteet)	Biokaasulaitoksen syöte
L1 MJ	Mädätysjäännös	Sian lietelanta + elintarviketeollisuuden sivutuotteet	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännös
L1 RV	Rejektivesi	Sian lietelanta + elintarviketeollisuuden sivutuotteet	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksestä lingolla erotettu nesteosa
L1 KJ	Mädätysjäännös	Sian lietelanta + elintarviketeollisuuden sivutuotteet	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksestä lingolla erotettu kuivaosa
L1 RAE	Kuivarae	Sian lietelanta + elintarviketeollisuuden sivutuotteet	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen kui-vaosasta edelleen kuivattu ja rakeistettu
L2 KJ	Mädätysjäännös	Puhdistamoliete	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksestä lingolla erotettu kuivaosa
L3 RAE	Kuivarae	Puhdistamoliete	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen kui-vaosasta edelleen rakeistettu ja kuivattu

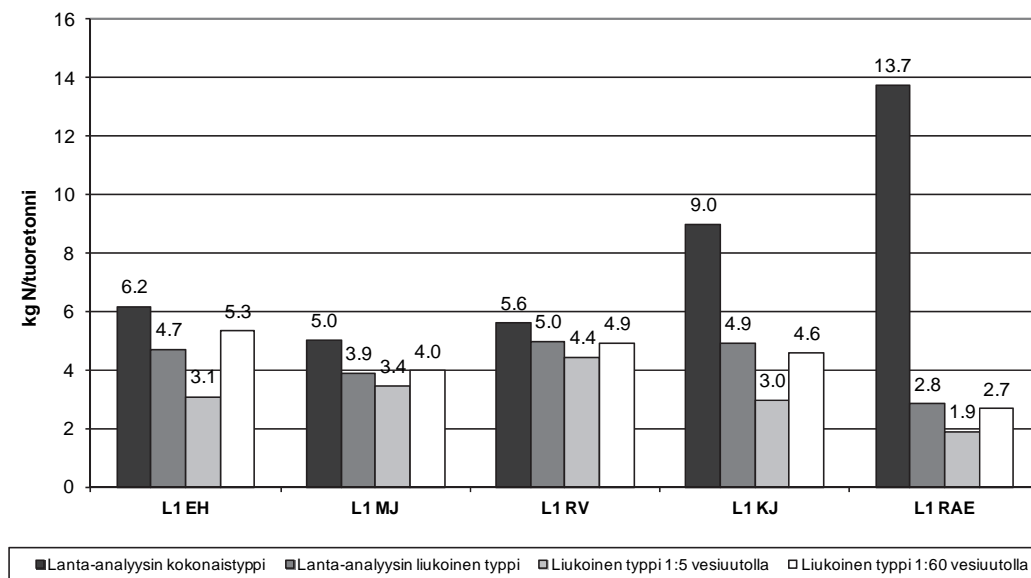


### 4.1.3 Tulokset

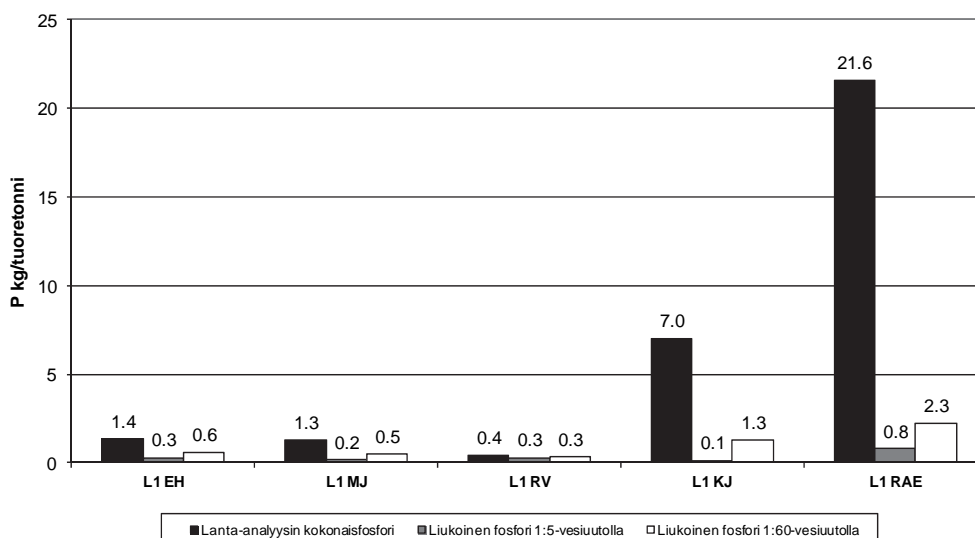
Laitoksen 1 nestejakeissa (syöte, mädätysjäännös ja rejektivesi) liukoisen typen osuus kokonaistypestä oli suuri (jakeiden keskiarvot 74 – 86 %) (kuvat 3 ja 5). Käytetyt kolme liukoisen typen analyysimenetelmää tuottivat myös hyvin samanlaiset liukoiset typpipitoisuudet nestejakeista (menetelmien keskiarvot 62 % - 84 %). Saman laitoksen kuivajakeessa liukoisen typen osuus kokonaistypestä oli menetelmien keskiarvona 46 % ja kuivarakeessa selvästi alhaisempi 18 % (kuvat 3 ja 5). Laitosten välillä ei ollut merkittäviä eroja typen liukoisuudessa toisiaan vastaavissa jakeissa.

Uttomenetelmistä lanta-analyysin mukainen kalsiumkloridi-suolahappouutto tuotti yleensä samansuuruisen tuloksen kuin 1:60 vesiututto. 1:5 vesiututon tulokset olivat jonkin verran muita menetelmiä alhaisemmat, mikä johtui ennen kaikkea alhaisemmasta ammoniumtypen uuttumisesta. Epäorgaanisen ammonium- ja nitraattitypen määrittämisen lisäksi kaikissa menetelmissä määritetty liukoinen orgaaninen typpi antaa lisätietoa lannoitevaikutuksesta.

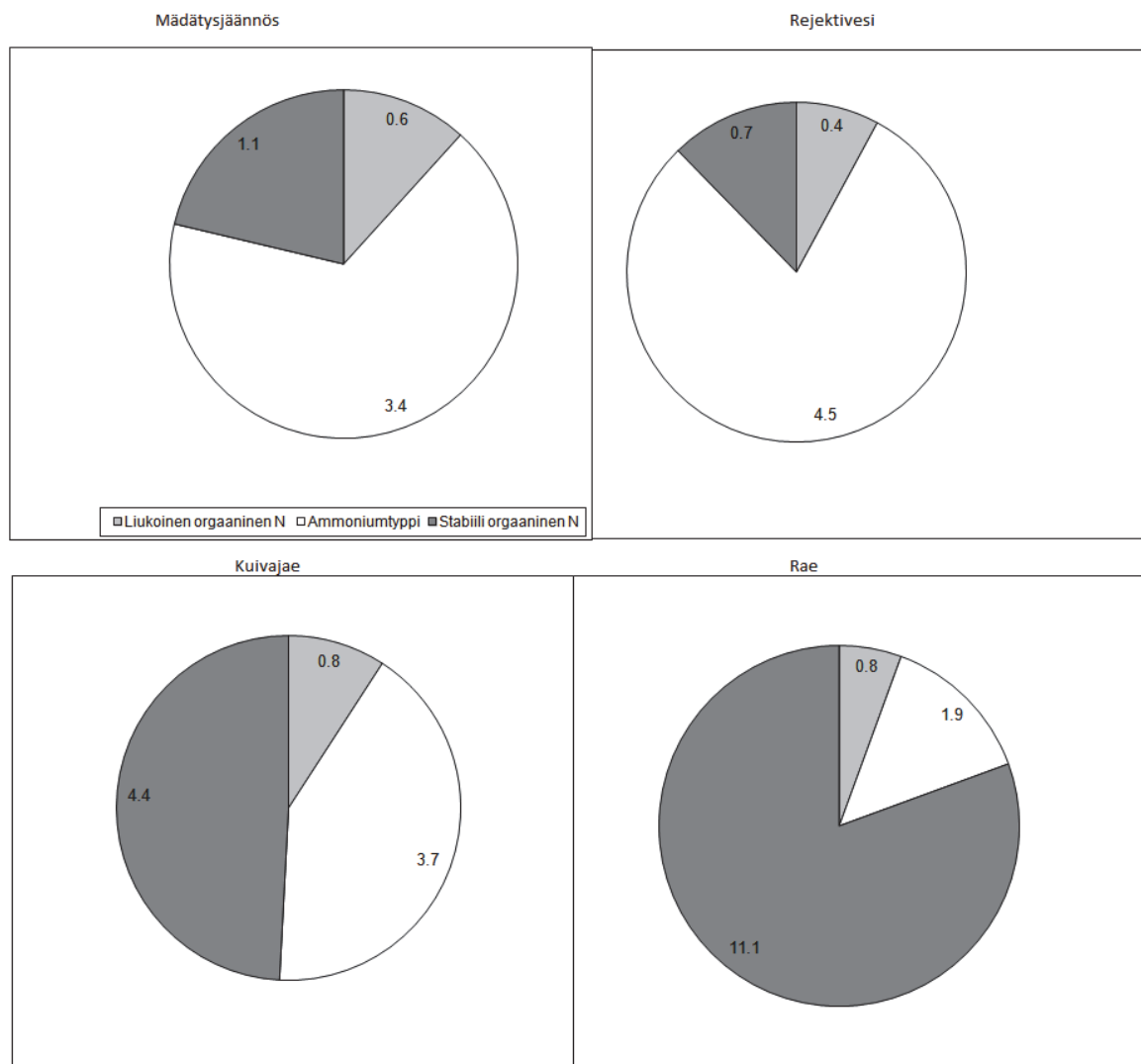
Laitoksen 1 nestejakeissa vesiliukoisen fosforin osuus kokonaisfosforista oli tehokkaalla 1:60 vesiututolla syötteestä ja mädätysjäännöksestä 42 - 46 % ja jopa 81 % rejektivedestä (kuva 4). Sitä vastoin saman laitoksen kuivajakeissa tai -rakeissa 1:60 vesiututto irrotti vain 10 – 18 % kokonaisfosforista (kuva 4). Teholtaan heikompi 1:5 vesiututto liuotti kuivajakeesta ja -rakeesta vain 2 – 4 % kokonaisfosforista.



Kuva 3. Laitoksen 1 syöteen ja lannoitevalmisteiden typpipitoisuudet eri analyysimenetelmillä.

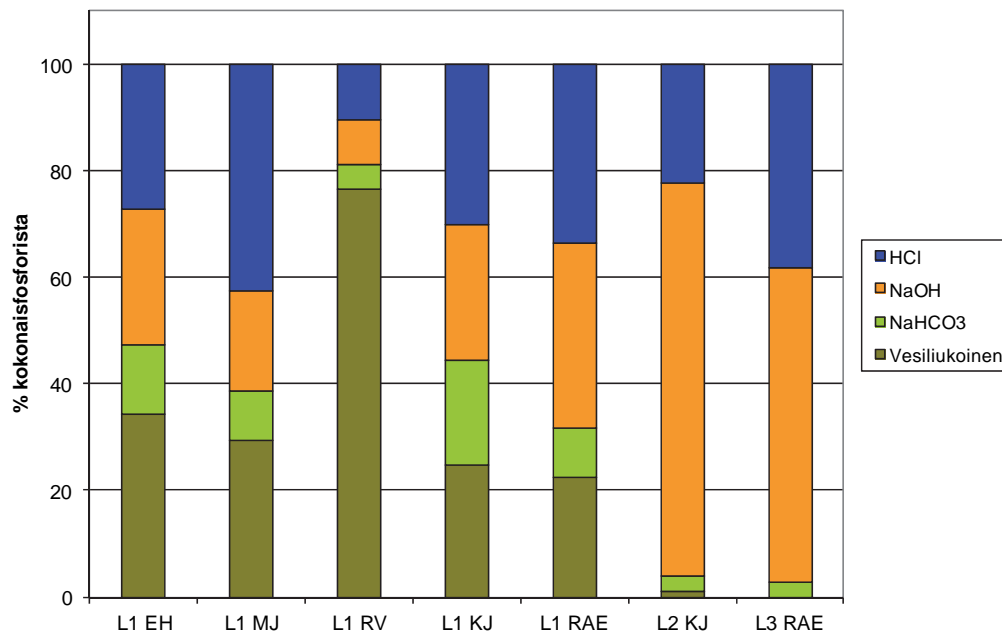


Kuva 4. Laitoksen 1 syöteen ja lannoitevalmisteiden fosforipitoisuudet eri analyysimenetelmillä.



Kuva 5. Ammoniumtypen, vesiliukoisen ja stabiilin orgaanisen typen pitoisuudet laitoksella 1 tuotetuissa lannoitevalmisteissa. Liukoisen orgaanisen typen ja ammoniumtypen pitoisuudet on määritetty 1:60 vesiuutolla ja nitraattitypeä näytteissä ei ollut. Kuvien lukuarvot kertovat pitoisuudet kg tuoretonnissa.

Fosforin liukoisuus Hedleyn fraktioinnissa erosi selvästi laitosten välillä (kuva 6). Laitoksessa 1, jonka pääraaka-aineena oli sian lietelanta, vesiliukoisen ja natriumbikarbonaatin uuttamaa fosforia oli noin 40 % kokonaisfosforista myös kuivajakeessa ja -rakeessa. Lantaperäisen fosforin liukoisuus pysyi mädätyksessä ja kuivajakeen separoinnissa samalla tasolla kuin raaka-aineessa. Vasta rakeistaminen heikensi fosforin liukoisuutta. Rejektivedessä suurin osa fosforista oli vesiliukoisessa muodossa. Puhdistamolietteestä valmistetuissa laitoksen 2 kuivajakeessa ja laitoksen 3 kuivarakeessa tämän kasveille nopeasti käyttökelpoisen fosforin osuudet olivat alle 5 % kokonaisfosforista. Suurin osa fosforista laitosten 2 ja 3 lannoitevalmisteista uuttui fosfaattina natriumhydroksidilla, mikä kertoo suuresta rautaan sitoutuneen fosforin osuudesta (mm. Penn ja Sims 2002).



Kuva 6. Näytteiden fosforin liukoisuus Hedleyn fraktioinnissa.

#### 4.1.4 Yhteenveto

Käyttämällä erilaisia analyysimenetelmiä orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoisen tyypin pitoisuuden määrittämiseen voidaan tyypin käyttökelpoisuutta kasveille ennustaa paremmin kuin yhdellä menetelmällä saadulla pitoisuudella. Orgaanisesta lannoitevalmisteesta lannoitevalmistelainsäädännön (Eduskunta 2006, MMM 2007) mukaisella analyysillä (1:5 vesiutu) määritetty liukoinen tyyppi kuvaa melko hyvin nestemäisten lannoitevalmisteiden tyypilannoitusvaikutusta. Nestemäisissä lannoitevalmisteissa korkea vesipitoisuus uuttaa epäorgaanista tyyppiä kiintoaineksesta vesijakeeseen jo varastoinnin aikana, jolloin uutossuhteen väljentämisellä ei ole juuri vaikutusta niillä saatavaan ammoniumtyypipitoisuuteen. Lannoitevalmisteilla, joiden kuiva-ainepitoisuus on korkea (esim. kuivajakeet) 1:5 vesiutu vapauttaa ammoniumia usein vähemmän kuin 1:60 vesiutu. Uuttosuhte 1:60 on poimittu Hedley'n menetelmästä (Sharpley & Moyer 2000) mutta uutossuhteen hienosäätö tämän uutossuhteen lähistöllä voisi johtaa vielä parempaan lopputulokseen. 1:5 vesiuuton ongelmana on myös uutossuhteen määrittely tilavuussuhteena. Tilavuuspainon määrittäminen ei ole yksiselitteinen asia kiinteillä kokoon painuvilla orgaanisilla maanparannusaineilla. Menetelmästä tulisi täsmällisempi, jos uutossuhde olisi massasuhteperustainen.

Kun lannoitevalmisteiden raaka-aine koostui lietalannasta ja elintarviketeollisuuden sivutuotteista, 1:60 vesiutu pystyi irrottamaan fosforia lannoitevalmisteistä tehokkaasti. Teholtaan heikommalla 1:5 vesiuutolla fosforin uuttuminen oli sitä pienempi, mitä korkeampi oli lannoitevalmisteiden kuiva-ainepitoisuus. Puhdistamolieteteistä valmistetuissa lannoitevalmisteissa vesiliukoisen fosforin osuus kuivajakeiden kokonaisfosforista oli alle 5 %. Ympäristötukijärjestelmä olettaa, että puhdistamolietettä sisältävien lannoitevalmisteiden fosforin käyttökelpoisuus kasveille on 40 % kokonaisfosforista (MMM 2007, 2008). Useimpien orgaanisten lannoitevalmisteiden kasveille käyttökelpoinen fosfori määritetään 1:5-veisiuutolla (MMM 2007, 2008). Tässä tutkimuksessa oli mukana puhdistamolietepohjainen biokaasulaitoksen käsitelyjäännöksen kuivajae, jossa liukoista fosforia oli alle 10 %. Koska niukkaliukoisemmasta fosforista osa todennäköisesti liukenee pitkän ajan kuluessa, vaikuttaa nykyinen 40 %:n arvio puhdistamolietettä sisältävien lannoitevalmisteiden fosforin lannoitusvaikutuksesta sopivalta arviolta. Sitä vastoin niillä orgaanisilla lannoitevalmisteilla, joilla käytetään 1:5 vesiuuttoa fosforilannoituksen perusteena, fosforin käyttökelpoisuus aliarvioidaan. Lannoitevalmisteissa, joiden raaka-aine on pääosin lantaa, olisikin perusteltua käyttää samaa käyttökelpoisuuskerrointa (85 %) kokonaisfosforista kuin käytettäessä kyseistä lantaa raakalantana.

Ympäristötukijärjestelmää varten orgaanisten lannoitevalmisteiden kasveille käyttökelpoinen typpi olisi määritettävä menetelmällä, jossa epäorgaanisen (NH<sub>4</sub>-N ja NO<sub>3</sub>-N) typen lisäksi uuttoliuoksen orgaaninen aines hajotetaan ja saadaan tiedoksi myös pienikokoisten orgaanisten yhdisteiden sisältämä typpi. Pääosin näin tehdäänkin jo nyt. Fosforin käyttökelpoisuutta erilaisista orgaanisista lannoitevalmisteista on vaikea määrittää yhdellä uuttoliuoksella, joten tällä hetkellä suositeltavaa olisi määrittää kokonaisfosfori ja arvioida kasveille käyttökelpoinen fosfori olemassa olevaan tietoon perustuvilla kertoimilla kokonaisfosforista.

## 4.2 Hiilen ja typen mineralisaatio

### 4.2.1 Tausta ja tavoite

Maahan lisätty orgaaninen lannoitevalmiste alkaa hajaantua mikrobien vaikutuksesta, kun ne käyttävät lannoitevalmisteen hiiltä ravinnokseen. Hajoamisnopeuteen, jota voidaan mitata hiilidioksidin tuottona, vaikuttavat myös orgaanisen lannoitevalmisteen hiiliyhdisteiden koostumus ja mikrobien käytettävissä oleva maan epäorgaaninen typpi. Mikäli lannoitevalmisteella on maan mikrobistolle toksisia vaikutuksia, lannoitevalmisteen lisäys voi jopa vähentää maanhengitystä eli maan omien orgaanisten hiilivarojen vapautumista eli mineralisaatiota hiilidioksidiksi. Maahan lisätyn lannoitevalmisteen orgaanisesta tyypestä voi vapautua eli mineralisoitua epäorgaanista tyypeä mikrobien hajottaessa lannoitevalmistettä, mutta mikäli lannoitevalmisteen tyyppipitoisuus on alhainen mikrobit alkavat kuluttaa maan epäorgaanista tyypeä omaan kasvuunsa. Tällöin maan epäorgaanisen typen pitoisuus laskee (immobilisaatio). Hiilen ja typen mineralisaatiotesteillä tutkittiin maahan lisätyn orgaanisen lannoitevalmisteen typen vapautumista ja lannoitevalmisteen hajoamisen vaikutusta maan tyyppitalouteen.

### 4.2.2 Menetelmät

Erilaisten lannoitevalmisteiden maassa tapahtuvan hiilen ja typen vapautumista tutkittiin laboratoriokeissa. Pieneen maanäytteeseen (50 g) sekoitettiin tutkittavaa materiaalia 1 – 3 g, jonka jälkeen hiilidioksidin vapautumista mitattiin sitomalla hiilidioksidi suljetussa lasiastiassa natriumhydroksidiin. Maassa tapahtuvia epäorgaanisen typen pitoisuuden muutoksia varten osa maanäytteistä poistettiin hiilidioksidin tuottomittauksista ja näistä näytteistä uutettiin epäorgaaninen typpi 2 M kaliumkloridilla. Hiilidioksidin vapautuminen suhteutettiin lisätystä materiaalista prosentteina vapautuneeksi osuudeksi ja maan epäorgaanisen tyyppipitoisuuden muutosta verrattiin käsittelemättömän maan tyyppipitoisuuden muutoksiin.

Taulukko 6. Mineralisaatiokokeessa tutkitut näytteet ja niiden lisäysmäärät maahan.

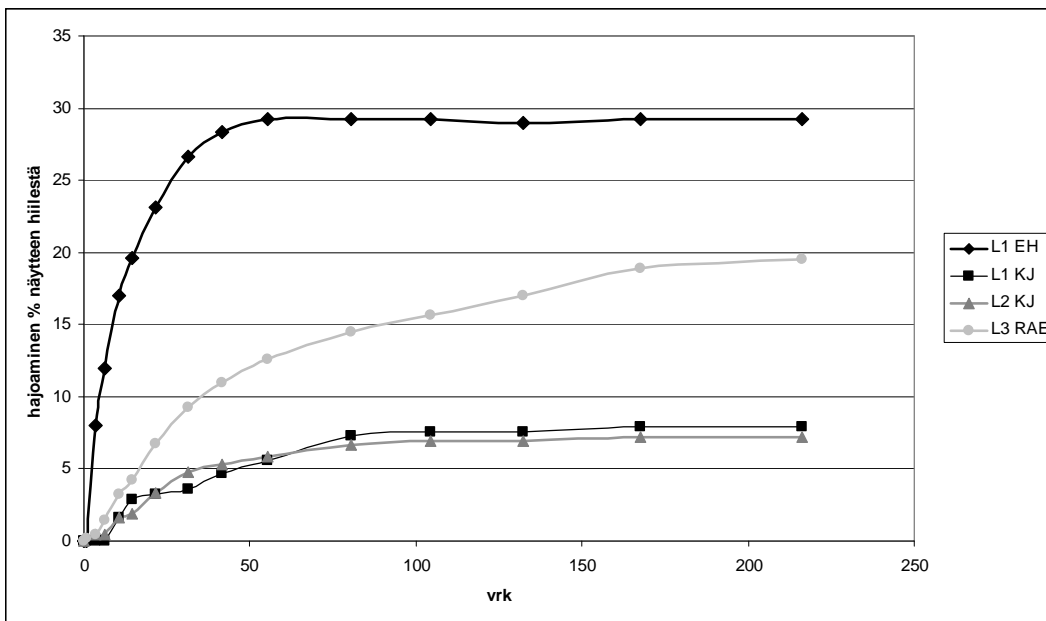
Näyte	Lisäys Tuore g/ 50g maata	Levitysmäärä suhteutettuna 10 cm kerrokseen		
		Tuoretonni/ ha	Kok-N kg/ha = mg/kg maata	Liuk N kg /ha = mg/kg maata
L1 EH	1.6	32	112	84
L1 KJ	1.5	30	271	175
L2 KJ	3.1	62	460	160
L3 RAE	1	20	448	21

### 4.2.3 Tulokset

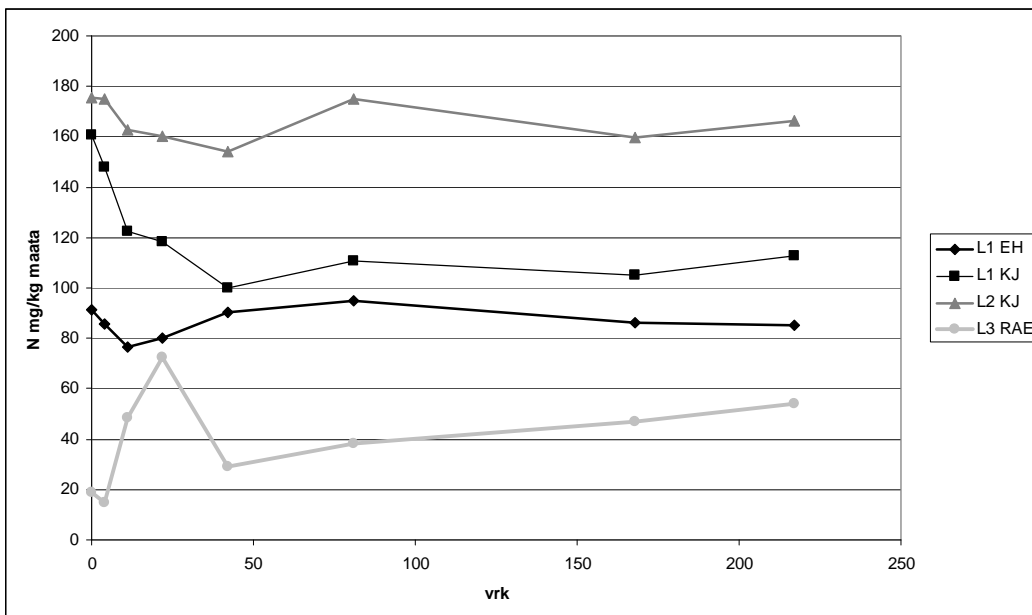
Käsittelemättömästä sian lietalannan ja teollisuuden sivutuotteiden seoksesta (L1 EH) hiilidioksidia vapautui kokeen aikana nopeasti noin 30 % lisätystä hiilen määrästä (Kuva 7). Biokaasuprosessin käsitteley-

jäännöksen kuivajakeet (L1 KJ ja L2 KJ) hajaantuivat hitaasti ja vain alle 10 % niiden hiilisisällöstä vapautui kokeiden aikana. Millään tutkituista tuotteista ei havaittu toksisia vaikutuksia maan hengitykseen. Kuivarakeen (L3 RAE) hiilestä vapautui kokeen aikana noin 20 %.

Lannoitevalmisteissa maahan lisätty ammoniumtyppi nosti heti mineralisaatiokokeen alussa maan ammoniumtyyppipitoisuutta jokaisen materiaalin sisältämällä ammoniumtyppimäärällä. Biokaasuprosessin käsittelyjäännöksen kuivajakeen, jossa pääraaka-aineena oli sian lietelanta, (L1 KJ) hajoaminen immobilisoi mikrobeihin maan epäorgaanista tyyppiä enemmän kuin käsittelemättömän lietelannan ja teollisuuden sivutuotteiden seoksen (L1 EH) tai mädätetyn puhdistamolietteen kuivajakeen (L2 KJ) hajoaminen (kuva 8). Typen immobilisaatio voikin alentaa hieman lannoitevalmisteen lannoitevaikutusta verrattuna arvioon, joka perustuu lannoitevalmisteen sisältämään liukoisen typen määrään.



Kuva 7. Tutkittujen materiaalien hiilen vapautumisnopeuksia muhituskoekokeiden aikana.



Kuva 8. Maan epäorgaanisen typen pitoisuuksien muutokset mineralisaatiokokeen aikana.

Kuivarakeesta (L3 RAE) tapahtui 0 – 30 päivän aikana hieman typen vapautumista. Sen jälkeen rakeen kestävämmän materiaalin hajotessa hitaammin, epäorgaanista tyyppiä immobilisoitui jonkin verran takaisin orgaaniseen ainekseen. Kokeen loppua kohden orgaanisen typen vapautuminen hieman lisääntyi ja nosti epäorgaanisen typen pitoisuuden noin 2,5-kertaiseksi lähtötilanteeseen nähden. Yhdelläkään tutki-

tuista materiaaleista ei kuitenkaan havaittu merkittävää typen mineralisaatiota suhteessa sisältämäänsä orgaaniseen tyypeen.

#### 4.2.4 Johtopäätökset

Mineralisaatiokokeiden perusteella havaittiin, että muutamilla tuotteilla maahan sekoittamisen jälkeen orgaanisen aineksen hajoamisen jatkuminen immobilisoi lannoitevalmisteen epäorgaanista tyypeä. Tällöin typpilannoitusvaikutus ei ole heti lisäyksen jälkeen laboratorioanalyysin osoittaman liukoisen typen mukainen. Tutkituilla materiaaleilla ei havaittu orgaanisen typen merkittävää vapautumista, joka nostaisi maan epäorgaanisen typen määrää. Lannoitevalmisteen ammonium- ja nitraattitypen sekä vesiliukoisen orgaanisen typen pitoisuuksien mittaaminen antaa hyvät tiedot typpilannoitusvaikutuksen arvioimiseen. 1:60 vesiutu irrottaa tyypeä tehokkaammin kuin lannoitevalmistelain mukainen 1:5 vesiutu. Valvontaan 1:5 vesiutu on todennäköisesti riittävä, mutta uutta lannoitevalmistettä kehitettäessä on suositeltavaa määrittää myös 1:60 vesiutuun liukenevat typpiyhdisteet.

### 4.3 Eri analyysimenetelmien soveltuvuus liukoisen typen tuotantovai- kutuksen ennustamiseen

#### 4.3.1 Tausta ja tavoite

Mineraalilannoitteiden liukoinen typpi on yleensä ammoniumnitraattina, joka on hyvä kompromissi sen saatavuuden kasveille kasvukauden alussa ja huuhtoutumisherkkyuden välillä. Orgaanisissa lannoitevalmisteissa tyypeä on monissa eri muodoissa ja niidenkeskinäiset osuudet vaihtelevat lannoitevalmisteittäin. Typpi voi olla esimerkiksi uttoliuokseen liukenemattomassa orgaanisessa muodossa, siihen liukenevassa orgaanisessa muodossa, ammoniumina tai nitraattina. Näiden typen muotojen saatavuus kasveille on erilainen. Saatavuus paranee luettelon mukaisessa järjestyksessä siten, että liukenematon orgaaninen typpi on käytännössä kasveille käyttökelpotonta, koska siitä mineralisoituva pieni määrä tyypeä mineralisoituu Suomessa kasvien ravinteiden oton kannalta liian myöhään. Nitraattityppi puolestaan on käytännössä kokonaan ja nopeasti kasveille käyttökelpoista. Se on kuitenkin myös helposti huuhtoutuvaa, joten runsaat sateet keväällä levityksen jälkeen saattavat huuhtoa sen kasvien ulottumattomiin ennen kuin kasvit ehtivät sitä käyttää. Nitraattityppeä on yleensä vain kompostoiduissa orgaanisissa lannoitevalmisteissa. Erilaiset biologiset käsittelyprosessit hajottavat vaikeimmin kasveille käyttökelpoisia typpipitoisia yhdisteitä helpommin käytettäviksi. Tällöin yleensä liukoisten orgaanisten typpiyhdisteiden osuus vähenee ja ammoniumtypen osuus kasvaa. Tämän takia liukoisten orgaanisten typpiyhdisteiden osuus on suuri esimerkiksi kalkkistabiloidussa puhdistamolietteessä ja ammoniumtypen mädätysjäännöksessä.

Eri analyysimenetelmät uuttavat erityisesti kiinteiden orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoisen typen eri komponentteja eri tavoin ja antavat siten liukoisen kokonaistypen pitoisuudelle erilaisen arvon. Uuttomenetelmän tulisi olla sellainen, että se kuvaa hyvin yleispätevästi liukoisen typen käyttökelpoisuutta kasveille, jotta uuton ei tarvitsisi olla erilainen eri lannoitevalmisteille. Jotta typen tuotantovaikutusta kasveille voitaisiin ennustaa tarkemmin, on tunnettava liukoisen orgaanisen typen komponenttien osuudet. Kasvukauden alussa runsaasti tyypeä ottava kasvit, joiden juuristo on silloin vielä kehittymätön, kuten kevätiljoilla, tarvitsevat tyypeä hyvin liukoisessa muodossa. Sen sijaan kasvit joiden typenotto keskittyy kasvukauden loppuun, kuten esimerkiksi sokerijuurikas, pärjäävät alkuaan vähemmän käyttökelpoisella typen lähteellä. Orgaanisen lannoitevalmisteen mukana tulleen liukoisen typen käyttökelpoisuus lisääntyy maassa nopeasti. Esimerkiksi ammoniumtyppi nitrifikoituu. Tarvittavaan käyttökelpoisuuteen vaikuttaa myös levitysmenetelmä. Kylvölannoituksen yhteydessä annettu mineraalilannoitteen ammoniumnitraattityppi on käytännössä optimaalisin ratkaisu saatavuuden kannalta. Mikäli liukoinen typpi on lähes pelkästään ammoniummuodossa, on sijoituslannoitus pintalevitystä parempi vaihtoehto. Pintalevityksestä sijoituksen sijaan on vähemmän haittaa, jos liukoinen typpi on nitraattimuodossa.

Tässä tutkimuksessa oli tavoitteena selvittää millä analyysimenetelmillä voidaan ennustaa yleispätevästi orgaanisten lannoitevalmisteiden mineraalilannoitteiden ammoniumnitraattitypen tuotantovaikutusta vastaava typen tuotantovaikutus ohralla.

## 4.3.2 Materiaalit ja menetelmät

### 4.3.2.1 Typen käyttöstrategian valinta

Typen käyttöä maataloudessa säätelee ympäristötukiehtojen lisäksi EU:n nitraattidirektiivin kansallinen implementointi lainsäädäntöön, ns. nitraattiasetus. Nitraattiasetuksen mukaan lannan mukana saa levittää kokonaistyyppiä  $170 \text{ kg ha}^{-1}$ . Nykyisin Maaseutuvirasto ([www.mavi.fi](http://www.mavi.fi)) soveltaa tätä nitraattiasetuksen kohtaa myös orgaanisiin lannoitevalmisteisiin, vaikka ne eivät sisältäisi lainkaan tuotantoeläinten lantaa (EEC 1991, VN 2000, Mavi 2010). Tällä tulkinnalla on huomattava vaikutus orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttöstrategioiden valintaan, koska koko Suomi on julistettu nitraattiherkäksi alueeksi. Ilman kokonaistyyppirajaa  $170 \text{ kg ha}^{-1}$  kiinteitä orgaanisia maanparannusaineita levitettäisiin todennäköisesti kerralla viiden vuoden tasausjakson sallittua fosforimäärää tai sallittua haitallisten metallien kuormitusta vastaava määrä. MAVI:n tulkinnan takia kalenterivuoden aikana käytettävä kiinteitä orgaanisen lannoitevalmisteen määrää rajoittaa ensisijaisesti juuri tuo ns. nitraattiasetuksen kokonaistyyppiraja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että levityskertojen määrä viiden vuoden jaksossa on suurempi, mutta kertalevitysmäärä pienempi kuin ilman tätä ns. nitraattiasetuksen kokonaistyyppirajan laajennettua tulkintaa, mutta jakson aikana levitetty määrä on sama. Tässä käyttöstrategiassa suurin osa kasvin yhden kasvukauden typen tarpeesta tyydytetään täydennyslannoituksena annettavan mineraalilannoitteen typen kanssa, sen sijaan, että levitysvuonna pyrittäisiin kattamaan orgaanisella lannoitevalmisteella kasvin koko liukoisen typen tarve. Mineraalilannoitteiden typen käyttöä ei rajoita kyseinen  $170 \text{ kg ha}^{-1}$  raja lannan kokonaistyyppille (VN 2000)

Tässä tutkimuksessa kuitenkin käytettiin  $170 \text{ kg ha}^{-1}$  kokonaistyyppirajaa suurempia määriä orgaanisia lannoitevalmisteita, koska nitraattiasetuksen kirjaimellinen muotoilu ei pidä sisällään muuta kuin raakalannan ja MAVI:n laajennettu tulkintaa ei vielä oltu tehty. Tavoitteena oli antaa orgaanisen lannoitevalmisteen mukana koko ohran liukoisen typen tarvetta vastaava typpiannos, noin  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ . Tällöin käytetyt orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttömäärät vastasivat  $450 - 475 \text{ kg ha}^{-1}$  kokonaistyyppiä.

### 4.3.2.2 Kenttäkokeen järjestelyt

Orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoisen typen lannoitusvaikutusta hietasavimaalla kasvavalla ohralla tutkittiin Kaarinassa (E22°26,3', N60°25,2') vuonna 2009. Koejäsenet satunnaistettiin osaruutukoetyyppisesti neljään lohkokon. Pääruututekijät ovat seuraavassa eri kirjaimin merkityt koejäsenet ja osaruututyypiset tekijät kirjaimen perässä numeroin erotetut koejäsenet. Pääruututekijä erottelee lannoitevalmisteet ominaisuuksiltaan hyvin poikkeaviin ryhmiin ja osaruututekijä kuvaa erityyppisiä käsittelyjä ryhmän sisällä (taulukko 7). Koska osaruututyypiset tekijät eivät ole samat kaikissa pääruututekijöissä, koetta ei voitaisi esimerkiksi analysoida tilastollisesti osaruutukokeena, vaan kukin pääruututekijän taso olisi analysoitava erikseen. Tässä raportissa on tyydytty vertaamaan eri käsittelyillä saatuja eri analyysimenetelmien mukaisilla tyypilannoitustasoilla liukoisen typen tuotantofunktion avulla korjattuja normisatoja mineraalilannoitteen tyypellä saatuun ja keskenään ilman tilastollisen merkitsevyyden testaamista.

Taulukko 7. Kenttäkokeessa käytetyt käsittelyt.

Pääruututekijä	Osaruututekijä
A = mineraalilannoite typpitasoissa	<p>Typpilannoitustaso (kg ha<sup>-1</sup>)</p> <p>1 = 0</p> <p>2 = 30</p> <p>3 = 60</p> <p>4 = 90</p> <p>5 = 120</p> <p>6 = 150</p>
B = pienet ravinnepitoisuudet omaavat nestemäiset lannoitevalmisteet	<p>Levitysaika ja –menetelmä</p> <p>1 = Pelkästään rejektivesi (16 t ha<sup>-1</sup>) sijoitettuna kylvölan-noittimen lannoitevantaiden kautta kylvölannoituksen yh-teydessä.</p> <p>2 = Rejektivesi (10,6 t ha<sup>-1</sup>) sijoitettuna Kimadan-sijotuslaitteella kasvustoon 2 – 3 –lehtivaiheessa. Lisäksi kylvön yhteydessä sijoitettiin 30 kg N ha<sup>-1</sup> vastaava määrä tyyppiä mineraalilannoitteena.</p>
C = Suhteellisen suuret ravinnepitoisuu-det omaavat nestemäiset lannoitevalmis-teet	<p>Levitysaika ja –menetelmä</p> <p>1 = Pelkästään nestemäinen ammoniumsulfaatti (2,6 t ha<sup>-1</sup>) levitettynä laimennettuna (1:5) kastelukannulla letkulevitys-tä matkien välittömästi ennen kylvöä.</p> <p>2 = Nestemäinen ammoniumsulfaatti (tavoite 15 kg N ha<sup>-1</sup>) kasvustoon, joka oli perustettu, kuten käsittely A4. Ammo-niumsulfaatti levitettiin kasvustoon ruiskuttamalla myö-hään.</p>
D = Pienet ravinnepitoisuudet omaavat kiinteät orgaaniset maanparannusaineet	<p>Raaka-aine<sup>1)</sup>, käsittelytapa ja täydennyslannoitus</p> <p>1 = Laitos 1, biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen kuiva-jae</p> <p>2 = Laitos 2, biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen kuiva-jae</p> <p>3 = Laitos 4, biojätekomposti</p> <p>4 = Laitos 4, lietekomposti</p> <p>5 = Laitos 5, kemiallisesti hapetettu puhdistamoliete, ilman mineraalityypitäydennystä</p> <p>6 = Laitos 5, kemiallisesti hapetettu puhdistamoliete, mine-raalityypitäydennyksellä</p> <p>7 = Laitos 6, mädätetty ja kompostoitu puhdistamoliete</p>
E = Suhteellisen suuren ravinnepitoisuu-den omaavat orgaaniset maanparannusai-neet, lähinnä kuivarakeet ja vastaavat	<p>Raaka-aine<sup>1)</sup> ja täydennyslannoitus</p> <p>1 = Laitos 1, kuivarae, ilman mineraalityypitäydennystä</p> <p>2 = Laitos 1, kuivarae, mineraalityypitäydennyksellä</p> <p>3 = Laitos 7, kuivarae, ilman mineraalityypitäydennystä</p> <p>4 = Laitos 7, kuivarae, mineraalityypitäydennyksellä</p>

<sup>1)</sup>Laitos 1 ja Laitos 2: ks. kuvaukset kpl 3



Kenttäkokeissa käytettiin kahdella biokaasulaitoksella (L1 ja L2) sekä neljällä muuta käsittelymenetelmää käyttävällä laitoksella tuotettavia lannoitevalmisteita (taulukko 8). Käytetyistä materiaaleista on käytetty seuraavia merkintöjä:

MJ	Mädätysjäännös
RV	Rejektivesi
KJ	Kuivajae
RAE	Kuivarae; mädätysjäännöksestä rakeistettu lannoite
K	Komposti
KH	Kemiallisesti hapetettu puhdistamoliete
AS	Ammoniumsulfaatti

Taulukko 8. Tutkimuksessa käytetyt orgaaniset lannoitevalmisteet ja niiden käsittelyt.

Koodi	Tyyppinimi	Raaka-aineet	Tuotantomenetelmä tmv.	Käsittelyt (pääruu- tutekijä+ osaruu- tutekijä)
L1 RV	Rejektivesi	Sian lietalanta + elintarviketeollisuuden sivutuotteet	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksestä lingolla erotettu nesteosa	B1 ja B2
L1 KJ	Mädätysjäännös	Sian lietalanta + elintarviketeollisuuden sivutuotteet	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksestä lingolla erotettu kuivaosa	D1
L1 RAE	Kuivarae	Sian lietalanta + elintarviketeollisuuden sivutuotteet	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen kuivaosasta edelleen kuivattu ja rakeistettu (koe-erä)	E1 ja E2
L2 KJ	Mädätysjäännös	Puhdistamoliete	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksestä lingolla erotettu kuivaosa	D2
L4 K	Maanparannuskomposti	Biojäte	Kompostoitu aumassa	D3
L4 K	Maanparannuskomposti	Puhdistamoliete	Kompostoitu aumassa	D4
L5 KH	Kemiallisesti hapetettu puhdistamoliete	Puhdistamoliete	Kemiallisesti hapetettu	D5 ja D6
L6 K	Maanparannuskomposti	Puhdistamoliete	Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen kuivaosasta edelleen kompostoitu	D7
L2 AS	Typpilannoite	Puhdistamoliete	Ammoniumsulfaatti, joka on tuotettu biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksestä lingolla erotetusta nesteosasta strippausprosessissa	C1 ja C2
L7 RAE	Kuivarae	Puhdistamoliete, jonka raaka-aineesta pääosa on maitojätettä	Kuivaus ja rakeistus	E3 ja E4

Kokeissa käytettävän levitysmäärän määrittämiseksi orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoisen typen määrä analysoitiin suomalaisella lanta-analyysimenetelmällä (Kemppainen 1989). Tavoiteltu liukoisen typen annos oli  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ . Koko liukoisen typen määrä tuli orgaanisesta lannoitevalmisteesta käsittelyissä B1, D5, E1, E3, C1, D1, D2, D3, D4, D7. Käsittelyissä B2, D6, E2, E4, C2 käytettiin startti- tai täydennystyppinä mineraalilannoitetta, joka annettiin kylvölannoittimella lannoitevantaiden kautta kylvön yhteydessä. Käsittelyissä B2 lannoitevalmisteen määrää vähennettiin niin paljon, että liukoisen typen määrä pieneni ennakoanalyysituloksen mukaisen pitoisuuden perusteella  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ . Tämä typpimäärä annettiin mineraalilannoitteena kylvön yhteydessä. Käsittelyissä D6, E2 ja E4 kyseessä oli täydennyslannoitus, koska ennakkonäytteiden perusteella liukoisen typen pitoisuus oli hyvin pieni. Mineraalitypen osuus ennakkonäytteiden pitoisuuden mukaisista liukoisen typen määristä näissä käsittelyissä oli noin 80 %. Käytetty mineraalilannoite sisälsi 17 % typpeä, 4 % fosforia ja 13 % kaliumia ja sen sisältämä typpi luettiin mukaan liukoisen typen tavoitetasoon. Käsittelyssä B2 mitattiin sato sisältäen (B2\_1) tai sisältämättä levityskaluston pyöränjäljet (B2\_2). Käsittelyssä B2\_1 pyöränjälkien osuus vastaa 3 metriä leveän sijoituslaitteen käyttöä.

Orgaanisia lannoitevalmisteita levitettiin kuitenkin liukoisen typen tavoiteannoksen edellyttämää määrää vähemmän (E1, E2, E3, E4), jos haitallisten metallien tai fosforin pitoisuus ennakkonäytteissä rajoittivat levitysmäärää ympäristötukijärjestelmän (MMM 2007) tai lannoitevalmistelainsäädännön (MMM 2011) perusteella. Kasveille käyttökelpoisen fosforin määrä rajoitettiin viiden vuoden jaksossa sallituksi määräksi vuotuisannoksen ollessa  $15 \text{ kg ha}^{-1}$ . Tämä määrä vastaa keskimäärin viljakasveja kasvaville pelloille ympäristötukijärjestelmässä sallittua määrää (MMM 2007).

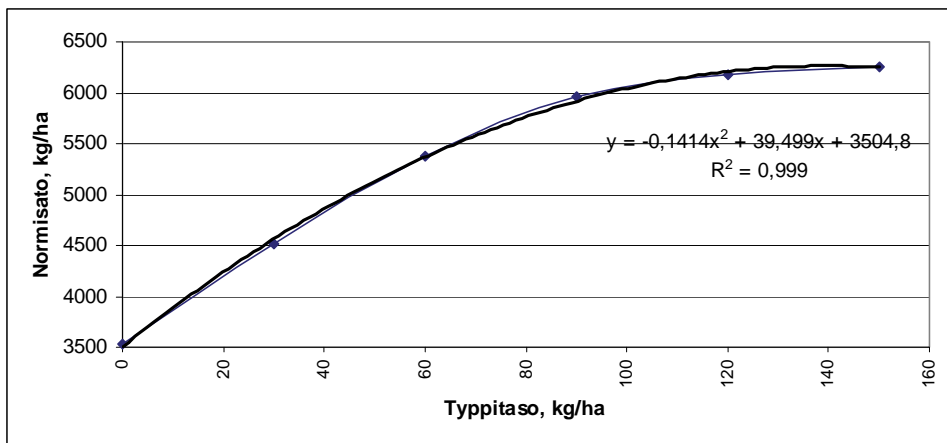
Liukoisen typen tuotantofunktio määritettiin mineraalilannoitteella käyttäen typpitasoja 0, 30, 60, 90, 120 ja  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  (A1 – A6). Käsittelyistä saadut sadot ja niiden puunkosteus määritettiin. Sadot laskettiin vastaamaan 15 %:n kosteutta. Orgaanisilla lannoitevalmisteilla saadut sadot korjattiin vastaamaan liukoisen typen tavoitetasoa typpitasoista määritetyn liukoisen typen tuotantofunktion avulla. Levityksen yhteydessä otetuista näytteistä määritettiin orgaanisten lannoitevalmisteiden lopulliset liukoisen typen pitoisuudet eri menetelmillä. Lopulliset käsittelyiden liukoisen typen määrät laskettiin kertomalla levitysmäärät näillä pitoisuuksilla. Käytetyt analyysimenetelmät olivat: 1) suomalainen lanta-analyysimenetelmä (Kemppainen 1989), 2) lannoitevalmistelainsäädännön mukainen 1:5-vesiuutto (MMM 2011) ja 3) muunnettu menetelmä menetelmästä 2 uuttosuhteella 1:60. Menetelmät on kuvattu tarkemmin kappaleessa 4.1.2.

Koekentän koeruutuihin kylvettiin ohraa myös seuraavana kasvukautena 2010. Typpitasoista tasot 0 – 90  $\text{kg ha}^{-1}$  (A1-A4) lannoitettiin kuten vuonna 2009. Myös sadot määritettiin vastaavalla tavalla. Käsittelyt, joissa oli vuonna 2009 käytetty eri lannoitevalmisteita (B, C, D, E), ja suuret typpitasot (A5 ja A6) kylvettiin vuonna 2010 lannoittamatta. Saatuja satoja vastaava vuoden 2009 käsittelyistä peräisin oleva liukoisen typen määrä määritettiin pienistä typpitasoista määritetyn tuotantofunktion avulla.

### 4.3.3 Tulokset

#### Liukoisen typen tuotantofunktio

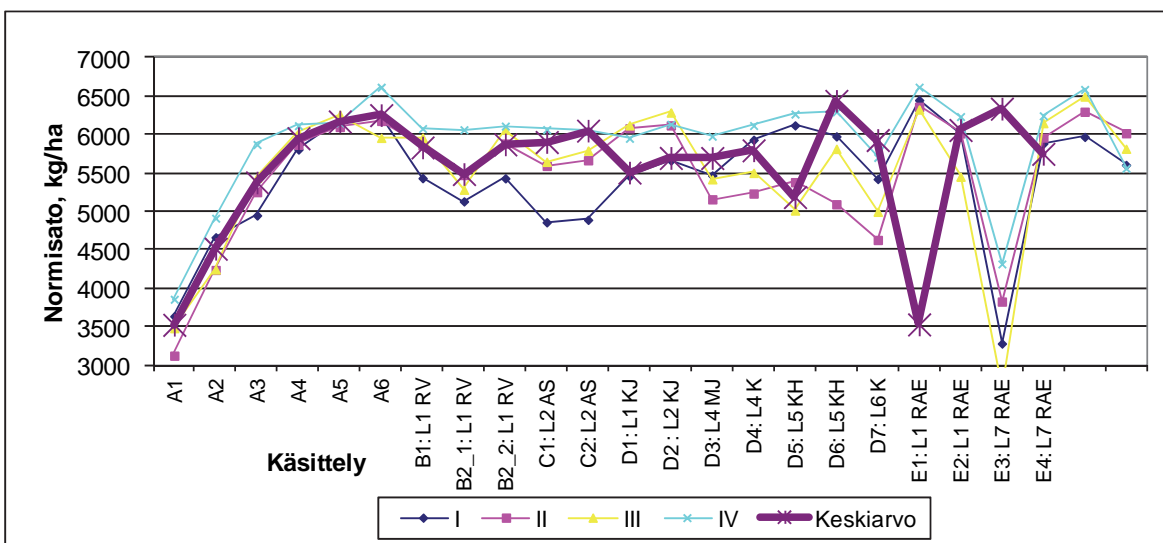
Koepaikan sato oli ilman typpilannoitustakin melko korkea, mikä aina vaikeuttaa erojen esiin saamista (kuva 9). Typpilannoituksen tavoitetaso oli hyvin onnistunut. Sato kasvoi lannoittamattomasta sille tasolle ja hieman yli lineaarisesti ja lähes kaikki toteutuneet liukoisen typen määrät tuotteilla osuivat tälle lineaariselle alueelle, mikä helpottaa tulosten tulkintaa. Lanta-analyysimenetelmän (menetelmä 1) mukaiset liukoisen typen määrät tuotteissa olivat  $14,6 - 107,5 \text{ kg ha}^{-1}$ , lannoitevalmistelainsäädännön menetelmän (menetelmä 2) mukaiset  $11,6 - 123,8 \text{ kg/ha}$  ja 1:60 vesiuutolla (menetelmä 3) saadut  $14,6 - 132,5 \text{ kg ha}^{-1}$ . Valittu perustyppilannoitustaso oli myös vallitsevilla ohran ja mineraalilannoitteiden typen hinnoilla taloudellisesti mielekäs.



Kuva 9. Typpilannoitustason vaikutus normisatoon Tuorlan ohrakokeessa 2009.

### Lannoitevalmisteiden tuottamat sadot

Tutkittujen lannoitevalmisteiden tuottamat sadot eri kerranteissa poikkesivat enemmän kuin mineraalilannoitteen tuottamat sadot eri kerranteissa (kuva 10). Kokeessa oli mukana kolme koejäsentä (D6, E2 ja E4), joissa 20 % liukoisen typen annoksesta annettiin orgaanisen lannoitevalmisteiden mukana ja 80 % mineraalityyppinä. Näissä koejäsenissä kerranteiden väliset satoerot olivat samaa tasoa kuin typpitasoissa. Orgaanisten lannoitevalmisteiden satovaste vaikuttaa siten olevan selvästi alttiimpi olosuhteiden vaihtelulle kuin mineraalilannoitteiden. Kerranteiden välisiin eroihin saattoi myös vaikuttaa orgaanisen lannoitevalmisteiden sisäinen liukoisen typpipitoisuuden vaihtelu.

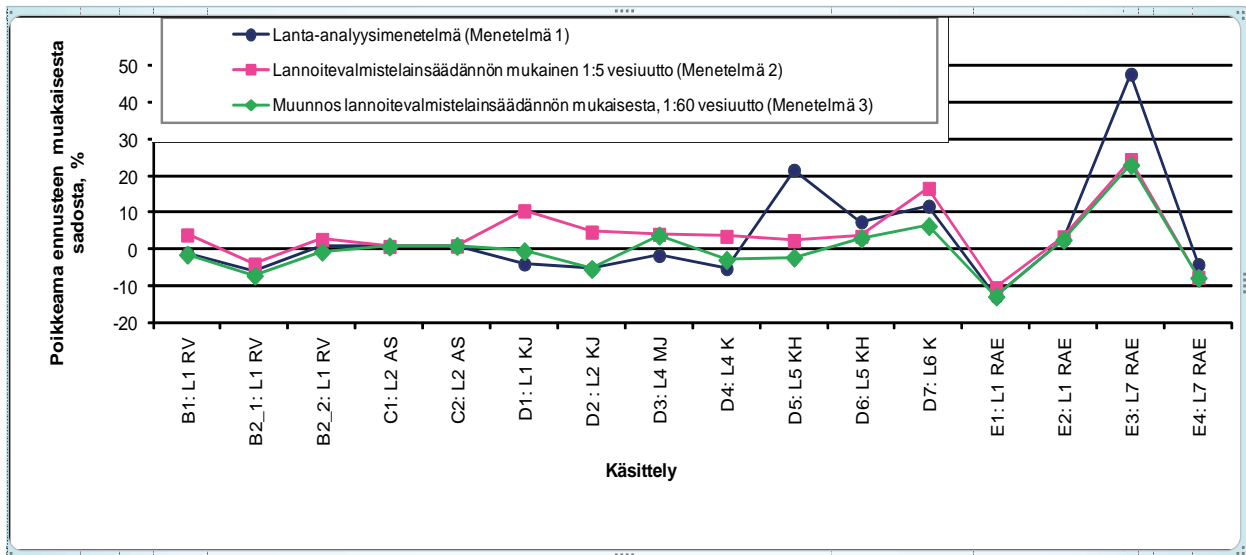


Kuva 10. Normisadot kerranteittain Tuorlan ohrakokeessa 2009. Analyysimenetelmänä suomalainen lantaa-analyysimenetelmä (menetelmä 1). Käsittelyt ja käytetyt lannoitevalmisteet on esitetty taulukoissa 7 ja 8.

### Analyysimenetelmien soveltuvuus lannoitusvaikutuksen arviointiin

Ennustettaessa orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoisen typen lannoitusvaikutusta hyvä menetelmä on sellainen, että se ennustaa kaikkien orgaanisten lannoitevalmisteiden lannoitusvaikutuksen hyvin eikä analyysimenetelmää tarvitse muuttaa orgaanisen lannoitevalmisteiden tyyppinimen tai tyyppinimiryhmän mukaan. Kuvassa 11 hyvä analyysimenetelmä on sellainen, että murtoviiva kulkee lähellä x-akselia kaikkien orgaanisten lannoitevalmisteiden kohdalla. Yleisesti ottaen paras ennuste liukoisen typen lannoitus-

vaikutukselle saadaan vesiuutolla suhteella 1:60 eli menetelmällä 3. Menetelmä 1 antaa suuremman liukoisen typen pitoisuuden rejektivedelle (B1) ja mädätetyille tai kompostoiduille orgaanisille maanparannusaineille (D1-D4, D7) kuin menetelmä 2, koska niissä ammoniumtypen osuus liukoisen typen kokonaispitoisuudesta on suuri. Sen tähden menetelmä 1 ennustaa suurempaa satoa kuin menetelmä 2 näille lannoitevalmisteille. Menetelmien hyvyys ei kuitenkaan riipu niiden antamien ennusteiden suuruusjärjestyksestä, vaan ennusteen yhteensopivuudesta ammoniumnitraattityypen tuotantovaikutuksen kanssa, kun ammoniumnitraatti sijoitetaan kylvölannoittimella kylvön yhteydessä joka toiseen kylvöriivin väliin kylvöpohjaan.



Kuva 11. Mitatun ohrasadon poikkeaminen eri menetelmillä analysoidun liukoisen typen määrän perusteella ennustetusta. Käsittelyt ja käytetyt lannoitevalmisteet on esitetty taulukoissa 7 ja 8.

Biokaasulaitoksen rejektivesi kylvön yhteydessä sijoitettuna (B1) tuotti yhtä suuren sadon kuin mineraalilannoite, kun analyysimenetelminä käytettiin menetelmiä 1 ja 3 (kuva 10). Menetelmällä 2 saadulla liukoisen typen pitoisuudella korjattuna sato oli 3,9 % parempi kuin muilla menetelmillä analysoidun liukoisen typen mukaan korjattu sato. Käsittelyssä B2, jossa rejektivesi sijoitettiin kasvustoon, sato vastasi mineraalilannoitteella saatavaa levityskaluston pyöränjalkien ulkopuolella (B2\_2), mutta levityskaluston pyöränjalkien kohdalla sato aleni noin 10 % (B2\_1). Pyöränjalkien aiheuttama typen tuotantovaikutuksen aleneminen 3,0 metrin työlevydeilläkin on vain noin 5,0 %. Esimerkiksi käytetyn sijoituslaitteen työlevyys oli 6,0 metriä, jolloin käytännön mittakaavassa rejektiveden liukoisen typen tuotantovaikutuksen alenema levityskaluston pyörien aiheuttaman tallauksen takia 2 – 3 –lehtivaiheessa olisi vain noin 2,5 %. Pyöränjalkien merkityksen pienentämiseksi tulisi sijoitusta pyrkiä aikaistamaan ja käyttämään mahdollisimman suurta työlevyettä. Käsittelyssä B2 oli kuitenkin annettu 30 kg ha<sup>-1</sup> tyyppiä mineraalilannoitteena kylvön yhteydessä, eikä vastaavaa rejektiveden liukoisen typen hyväksikäyttöä saavutettaisi ilman ainakin tämän suuruista starttityppilannoitusta.

Kuivajakeet biokaasulaitoksilta (D1 ja D2) tuottivat noin 5 % pienemmän sadon kuin mineraalilannoite, kun satoja verrattiin analyysimenetelmän 1 mukaan (kuva 10). Käytettäessä vertailuperusteena menetelmää 2, sato oli 10,5 % ja 4,7 % suurempi kuin mineraalilannoitteella. Menetelmä 3 ennusti hyvin orgaanisen lannoitevalmisteen liukoisen typen käyttökelpoisuutta ohralla, erityisesti biokaasulaitoksen kuivajakeella, jonka raaka-aine oli pääosin lietalantaa ja teollisuuden orgaanisia sivuvirtoja.

Kuivarakeet, jotka oli tuotettu biokaasulaitoksen kuivajakeesta (E1), tuottivat ainoana typen lähteenä noin 10 % huonomman sadon kuin mineraalilannoite, mutta täydennettynä mineraalilannoitteella (E2) yhtä suuren riippumatta siitä, minkä analyysimenetelmän mukaisen liukoisen typen pitoisuuden mukaan vertailu tehtiin. Ilman mineraalilannoitteella tehtyä tyyppitäydennystä liukoisen typen määrä oli hyvin pieni ja kuivarakeen ollessa hajalevitetty ja mullattu ohra ei hyötynyt siitä lainkaan. Täydennyksen kanssa selvästi

suurin osa tyypestä tuli mineraalilannoitteena annetusta täydennyslannoituksesta. Jälkimmäinen käyttötapa toimisi käytännössäkin niin, että pääosa tyypestä tulisi mineraalilannoitteesta, joka sisältäisi vain tyypeä ja muut ravinteet annettaisiin näinä kuivarakeina.

Suomalainen lanta-analyysimenetelmä (menetelmä 1) ennustaa liukoisen tyyden lannoitusvaikutuksen hyvin, kun kyseessä on nestemäinen raakalanta (lietelanta) tai rejektivesi, jossa liukoinen tyyppi on pääasiassa ammoniummuodossa (B1, B2). Niiden ammoniumtyypellä on menetelmän 1 ennustama lannoitusvaikutus eli ammoniumtyppi on paremmin kasveille käyttökelpoista kuin kiinteiden lannoitevalmisteiden tai kiinteän raakalannan. Osa tästä erosta selittyy kuitenkin sillä, että rejektivesi sijoitettiin kylvön yhteydessä tai sijoitettiin kasvustoon, jolloin sen sisältämä liukoinen tyyppi joutui ohran ravinteiden oton kannalta edullisempaan kohtaan maassa suhteessa kylvöriiviin ja maan kosteuteen. Lisäksi liukoisen tyyden tappiot ilmaan ammoniakkinen levityksen jälkeen olivat pienemmät kuin mitä ne olisivat olleet käytettäessä pinta-levitysmenetelmiä.

Kiinteän raakalannan tai kiinteän orgaanisen lannoitevalmisteen sisältämä ammoniumtyppi on huomattavasti kasveille käyttökelpoista kuin nestemäisen raakalannan tai nestemäisen orgaanisen lannoitevalmisteen. Tämä johtuu siitä, että kiinteälle raakalannalle ja kiinteille orgaanisille lannoitevalmisteille ei ole olemassa sijoitusmenetelmää kuivarakeita ja vastaavia lukuun ottamatta, jolloin joudutaan käyttämään pintalevitysmenetelmiä ja multausta, minkä takia ammoniakkitappiot voivat muodostua suuriksi, ja liukoinen tyyppi joutuu epäedullisempaan asemaan maassa ja suhteessa kylvöriiviin kuin sijoitustekniikkaa käytettäessä. Koska menetelmä 1 havaitsee käytännössä kaiken ammoniumtyyden, se yliarvioi tällaisten orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoisen tyyden lannoitusvaikutuksen.

Lannoitevalmistelainsäädännön mukainen virallinen menetelmä (menetelmä 2) yliarvioi joidenkin kiinteiden orgaanisten lannoitevalmisteiden (esim. D1-D7) ammoniumtyypipitoisuuden ja vesiliukoisten orgaanisten tyyppiyhdisteiden pitoisuuden mutta on kuitenkin riittävä niiden nitraattityypipitoisuuden määrittämiseen. Menetelmän 2 uuttosuhteen 1:5 väljentäminen uuttosuhteeksi 1:60 uuttaa enemmän ammoniumtyyppiä ja vastaa melko hyvin kiinteiden orgaanisten lannoitevalmisteiden ammoniumtyyden käyttökelpoisuutta kasveille. Toisaalta se ei yliarvioi nestemäisten lantojen ja lannoitevalmisteiden ammoniumtyyden tuotantovaikutusta.

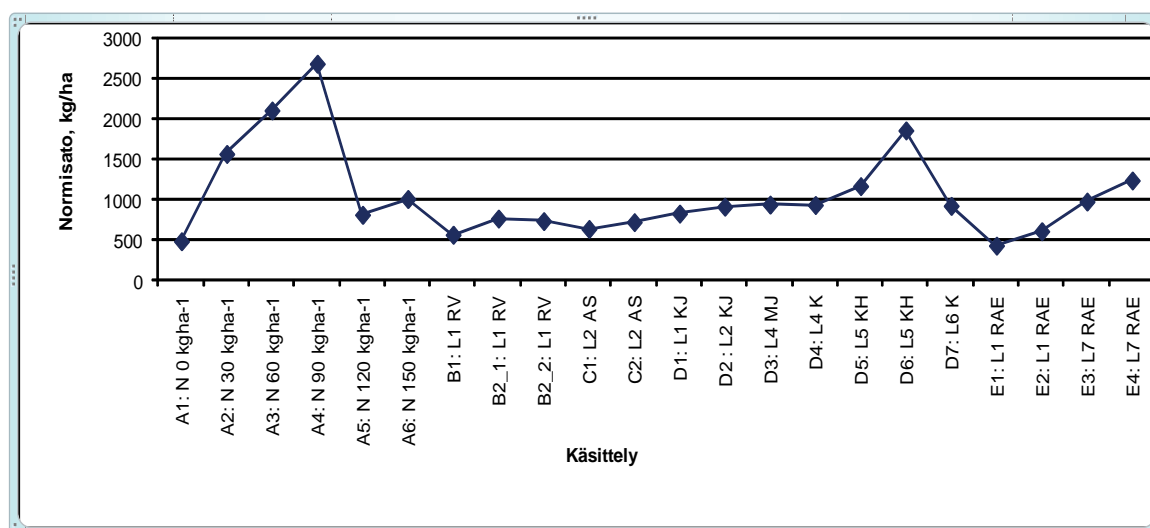
Kemiallisesti hapetettua puhdistamolietettä analysoidessa (D5 ja D7) menetelmällä 2 saatu liukoisen tyyden pitoisuus on huomattavasti suurempi kuin menetelmällä 1 saatu pitoisuus, koska materiaali sisältää runsaasti vesiliukoisia orgaanisia tyyppiyhdisteitä, jotka eivät näy menetelmällä 1 käytettäessä. Menetelmää 1 voitaisiin kuitenkin periaatteessa kehittää niin, että vesiliukoinen orgaaninen tyyppi hajotettaisiin ennen mittausta. Tämän lisäksi nitraattityppi pitäisi pelkistää ammoniumtyypeksi ennen mittausta. Samalla kuitenkin menetettäisiin informaatio liukoisen tyyden eri komponenteista ja ammoniumtyyden tuotantovaikutusestusta tulisi liian suuri, koska orgaaninen liukoinen tyyppi on kasvin käytettävissä hitaammin.

Runsaasti muita eläinperäisiä sivutuotteita kuin lantaa raaka-aineena sisältävillä orgaanisilla lannoitevalmisteilla (esim. E3 ja E4) on tyypillisesti suuri ja nopea tyyden mineralisaatio. Näiden lannoitevalmisteiden liukoisen tyyden mineralisaatio on niin nopeaa, että jopa ohra ehtii hyödyntämään orgaanisesta veteen liukenemattomasta tyypestä mineralisoituneen liukoisen tyyden. Kaikki käytetyt analyysimenetelmät yliarvioivat sellaisten orgaanisten lannoitevalmisteiden tyyppilannoitusvaikutuksen. Jotta sellaisen orgaanisen lannoitevalmisteen liukoisen tyyden lannoitusvaikutuksesta saataisiin realistinen ennuste, olisi niitä inkuboitava muutama viikko mineralisaation kannalta otollisissa olosuhteissa ja analysoidava vasta sen jälkeen. Otollisissa olosuhteissa inkuboimalla saatu liukoisen tyyden pitoisuus voi kuitenkin johtaa näiden lannoitevalmisteiden tyyppilannoitusvaikutuksen yliarvioimiseen, jos kasvukauden olosuhteet ovat hyvin epäedulliset tyyden mineralisaation kannalta s.o. sadanta on hyvin vähäistä kasvukauden alussa. Tästä aiheutuva haitta ei ole sadonmuodostuksen kannalta yhtä suuri kuin yliarvioimisesta aiheutuva haitta mineralisaation kannalta otollisissa olosuhteissa, koska sadannan vähyys rajoittaa jo vedensaannin kautta sadonmuodostusta, mikä vähentää tyyden tarvetta. Aliarvostuksesta aiheutuva haitta näkyy muun muassa kuvassa 11 koejäsenen E4 kohdalla. Aliarvostettu liukoisen tyyden määrä alensi tyyden tuotantovaikutusta selvästi verrattuna koejäsenen E3, koska tavoitteena ollut liukoisen tyyden määrä maassa ylittyi selvästi aiheuttaen muun muassa lakoa.

## Typen jälkivaikutus

Nestemäisten kylvön aikaan käytettyjen lannoitevalmisteiden (B1 ja C1) ja sianlietelantaa sekä erilaisia elintarviketeollisuuden sivutuotteita sisältävien kuivarakeiden (E1 ja E2) jälkivaikutus oli hyvin pieni (kuva 12).

Kiinteiden orgaanisten lannoitevalmisteiden typen jälkivaikutus vuonna 2010 oli pääsääntöisesti samansuuruinen kuin suurten vuonna 2009 annettujen typpitasojen, 120 - 150 kg ha<sup>-1</sup>, kun orgaanisten lannoitevalmisteiden mukana tulleen kokonaistypen määrä oli noin 450 kg ha<sup>-1</sup> (kuva 12). Saatu sato vastasi noin 15 kg ha<sup>-1</sup> typpilannoitusta keväällä 2010.



Kuva 12. Normisadot vuoden 2010 jälkivaikutuskokeessa. Typpitasoista tasot 0 – 90 kg ha<sup>-1</sup> (A1-A4) lannoitettu v. 2010, muut lannoittamatta.

Selvästi poikkeava satotulos saatiin käsittelystä, jossa oli käytetty keväällä 2009 kemiallisesti hapetettua puhdistamolietettä ja sen lisäksi mineraalilannoitetta vastaten 75 kg ha<sup>-1</sup> typpeä (D6). Tästä käsittelystä saatu sato vastasi runsaan 50 kg ha<sup>-1</sup> typpilannoitusta keväällä 2010. Vastaavasta käsittelystä ilman typpiä (D5) keväällä 2009 saatiin vain hieman suurempi sato 2010 kuin muista käsittelyistä, joissa oli käytetty keväällä 2009 orgaanisia lannoitevalmisteita ilman mineraalityppitäydennystä. Ilmeisesti ohrakasvusto käytti ensisijaisesti mineraalilannoitteen typpeä ja kemiallisesti hajotetun puhdistamolietteen typpi jäi tässä tilanteessa mineralisoitumatta levitysvuonna, mutta oli kasvien käytettävissä seuraavana satokautena. Samansuuntaista vaikutusta oli myös runsaasti maitojätettä sisältäviä kuivarakeista saaneissa käsittelyissä (E3 ja E4).

Tulosten mukaan ns. nitraattiasetuksen tulkinnan salliman kokonaistypen määrän, 170 kg ha<sup>-1</sup>, puitteissa ei ole odotettavissa typpilannoitusta seuraavana kasvukautena.

### 4.3.4 Yhteenveto

Rejektiveden liukoinen typpi vastaa tuotantovaikutukseltaan mineraalilannoitteen typpeä. Kiinteän orgaanisen lannoitevalmisteiden liukoinen typpi on hitaammin käyttökelpoista ohralle kuin lietelantaa tai nestemäisen orgaanisen lannoitevalmisteiden. Kiinteiden tuotteiden kanssa onkin suositeltavaa käyttää täydennystyppilannoitusta. Kiinteiden orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoisen typen saatavuus ohralle on hieman mineraalilannoitetta hitaampi ja tuotantovaikutus siten huonompi ainakin sen osuuden ollessa suuri liukoisen typen kokonaiskäyttömäärästä, koska ne levitetään pintalevityksenä koko muokkauskerrokseen, jolloin niiden saatavuus kasveille on huonompi kuin sijoitetulla mineraalilannoitteella.

Kenttäkokeen perusteella paras ennuste erilaisten orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoisen typen lannoitusvaikutukselle saadaan menetelmällä, jossa vesiliukoinen typpi analysoidaan uutusuhteella 1:60.

Vesiuutto uuttosuhteella 1:5 aliarvioi kiinteiden orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoisen typen lannoitusvaikutusta sitä enemmän mitä enemmän ne sisältävät ammoniumtyyppiä. Parhaan uuttosuhteen määrittäminen vaatii kuitenkin jatkotutkimuksia. Suomalainen lanta-analyysimenetelmä toimii hyvin tapauksissa, joissa liukoinen tyyppi on pääasiassa ammoniumtyyppiä, kuten raakalannassa ja biokaasulaitoksen rejekti-vedessä, mutta ei esimerkiksi puhdistamolietteestä valmistetuissa orgaanisissa lannoitevalmisteissa. Menetelmän laajentaminen kattamaan nitraattityyppiä ja vesiliukoisen orgaanisen typen ovat analyysiteknisesti ongelmallisia.

Jälkivaikutuskokeen tulosten perusteella orgaanisten lannoitevalmisteiden orgaanisella veteen liukene- mattomalla tyypellä ei ole oleellista typpilannoitusvaikutusta seuraavana kasvukautena. Myöskään raakalannalla vastaavaa jälkivaikutusta ei ole havaittu Suomen olosuhteissa.

Kuva: Roni Lehti



---

## 5 Biokaasulaitosten lopputuotteiden stabiilisuus ja toksisuus sekä mikrobiologinen riskinarviointi

---

### 5.1 Tausta ja tavoite

Valmistettaessa hyödynnettäviä tuotteita erilaisista biohajoavista jätteistä on huomioitava niiden käsittelyprosessille asettamat vaatimukset. Perusedellytyksenä voidaan pitää prosessin toistettavuutta, tehokkuutta ja hallittavuutta. Näiden edellytysten varmistamiseksi on säännöllisesti seurattava käsittelyparametreja, joilla voidaan todentaa prosessin toimivuus. Valitsemalla oikein seurattavat käsittelyparametrit luodaan edellytykset turvallisten ja hyödyntämiskelpoisten lopputuotteiden valmistamiseksi.

Yhdyskunnista ja teollisuudesta muodostuviin biohajoaviin jätteisiin ja sivuvirtoihin voi liittyä erilaisia lopputuotteen laatuun vaikuttavia riskitekijöitä, joita ovat mm. taudinaiheuttajat, orgaaniset haitta-aineet, haitalliset metallit, lääkeaineet ja hormonijäämät. Esimerkiksi eläimistä ihmisiin tarttuvien taudinaiheuttajien eli zoonooseja on käsittelemättömästä jätteestä tunnistettu yli 150 lajia (Charles ym. 2005). Käsittelyprosessilla voidaan näistä riskitekijöistä vaikuttaa taudinaiheuttajien tuhoutumiseen. Sen sijaan orgaaniset haitta-aineet, haitalliset metallit, lääkeaineet ja hormonit voivat kulkeutua osittain tai kokonaan prosessin läpi ja jäädä valmistettavaan lopputuotteeseen. Tällöin korostuu raaka-aineiden valinnan merkitys.

Työn tavoitteena oli soveltaa ja kehittää menetelmiä projektissa tutkittujen biokaasulaitosten eri jakeiden laadun arviointiin. Tulosten perusteella voidaan arvioida biokaasulaitosten käsittelyjäännösten laatua sekä käyttötarkoitusta huomioiden niille soveltuvat laatuvaatimukset. Tässä hankkeessa VTT keskittyi arvioimaan tuotteiden stabiilisuutta ja ympäristömyrkyllisyyttä. Evira puolestaan arvioi näytteiden fytotoksisuutta eli haitallisuutta kasveille sekä selvitti käsittelyprosessien vaikutusta lopputuotteen ominaisuuksiin ja tuotteiden käyttöön liittyviä mahdollisia riskejä. Tulosten tarkastelussa huomioitiin EU:n ja kansallisen lainsäädännön vaatimukset sekä arvioitiin mahdollisia lainsäädännön muutostarpeita.

### 5.2 Taudinaiheuttajat

#### 5.2.1 Taudinaiheuttajat orgaanisissa jätteissä

Orgaaniseen jättemateriaaliin liittyy tautiriski, joka tulee huomioida käsiteltäessä ja kierrätettäessä orgaanista ainesta. Taudinaiheuttajat voivat olla ihmis-, eläin- tai kasviperäisiä. Taudinaiheuttajia esiintyy mm. infektioituneiden tai sairaiden ihmisten ja eläinten ulosteissa ja eritteissä sekä infektioituneiden eläinten kudoksissa. Kasvitauteja voi esiintyä kasvin eri osissa, kuten juuressa, lehdyissä tai kasvin syötävissä osissa.

##### 5.2.1.1 Ihmis- ja eläinperäiset taudit

Orgaanisessa jätteessä esiintyy useita eri taudinaiheuttajia, kuten bakteereja, viruksia, loisia ja sieniä. Tunnettuja tauteja aiheuttavia bakteerisukuja ovat esim. *Salmonella*, *Listeria*, *Escherichia*, *Campylobacter*, *Mycobacterium*, *Clostridium* ja *Yersinia*. Näistä *Salmonella* spp. voi säilyä kahdeksasta kuukaudesta jopa vuoteen maaperässä, johon on levitetty salmonellalla saastunutta lantaa (Henry ym. 1995). Lietelannassa sen on todettu pysyvän elinkykyisenä yli 77 vuorokautta sekä lisääntyvän lämpötila-alueella 6 – 47°C.

Suomessa esiintyy tuotantoeläimissä normaalisti hyvin vähän salmonellaa kansallisen salmonellavalvontaohjelman ansiosta. 2000-luvulla on vuosittain löytynyt noin 10 ulostepositiivista karjaa (Evira 2009). Vuoden 2009 keväällä oli Suomessa laajempi salmonellaepidemia, jonka epäillään levinneen usealle siipikarja- ja sikatilalle rehun välityksellä. Kanaloista saastui salmonellalla noin 2 % ja sika-loista noin 0,5 %. Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen tilastojen mukaan on ihmisillä todettu Suomessa vuosittain 2000 – 3000 salmonelloosia. Suurin osa tartunnoista on saatu ulkomailta. Salmonellaan sairastuneet voivat olla pitkään infektioituneita ja erittää salmonellaa ulosteen mukana. Tällöin taudinaiheuttajia voi joutua jätevedenpuhdistamoprosessin kautta jätevesilietteen. Suolistoperäisenä bakteerina lannan



ja puhdistamolietteen lisäksi salmonella voi levitä myös saastuneiden elintarvikkeiden välityksellä. Salmonelloosia sairastavien eläinten liha, etenkin siipikarjan- ja sianliha, sekä kananmunat toimivat usein kuljetinelintarvikkeina (Mitscherlich & Marth, 1984). Suomessa esiintyvät merkittävimmät salmonellan serotyypit ovat *S. Typhimurium*, *S. Enteridis* ja *S. Infantis* (Evira 2010a).

Salmonellan on todettu tuhoutuvan 70°C:ssa 30 minuutissa, mutta osa salmonellatyypeistä on havaittu hyvin kestäviksi, kuten *S. Enterica*. Tästä syystä suositeltava hygienisointikäsitely on 70°C 60 minuutin ajan (Bagge 2009).

*Listeria*-bakteeria esiintyy luontaisesti sekä maaperässä että kasveissa. Bakterin on osoitettu lisääntyvän elintarvikkeissa ja rehuissa laajalla lämpötila-alueella, 1 – 45°C (Pell 1997, Junttila ym., 1988). Lisääntymiskyky alhaisissa lämpötiloissa antaa bakteerille kasvuetua kilpaileviin bakteereihin verrattuna. Lietelannassa voi *Listeria monocytogenes* säilyä elinkykyisenä jopa 6 kuukautta (Nicholson ym. 2005) ja kompostissa useita viikkoja. Wagner ym. (2008) tutkimuksen mukaan termofiilisessä biokaasuprosessissa (53±0,3 °C) *L. monocytogenes* tuhoutuu 24 tunnissa. Bakteri pystyy lisääntymään sekä aerobisissa että anaerobisissa olosuhteissa. Näin ollen tyhjiöpakatut elintarvikkeet, joilla on pitkä säilytysaika voivat toimia vehikkelielintarvikkeina. Vuoden 2010 ja alkuvuoden 2011 aikana oli poikkeuksellisen paljon listerioosiin sairastuneita ihmisiä, vuonna 2010 yhteensä 70. Normaalisti tapauksia on vuosittain alle 50 (THL 2008-2010). *Listeria*-bakteerin aiheuttama listerioosi on vaarallinen raskaana oleville ja henkilöille, joilla on alentunut tautien vastustuskyky (esim. vanhukset).

Tautia aiheuttavia *Escherichia coli* -bakteerin muotoja on useita. Viime vuosina on enterohemorragisesta *E. colista* eli EHEC:stä tullut merkittävin taudinaiheuttaja ihmisillä. Sen tunnetuin tautia levittävä seroryhmä on *E. coli* O157:H7. Se säilyy ulosteessa lisääntymiskykyisenä jopa 10 viikkoa 5°C:ssa ja noin seitsemän viikkoa 37°C lämpötilassa erittäin myrkyllisiä yhdisteitä (Wang ym. 1996). Serotyyppi O157:H7 kestää myös happamia ja muita epäsuotuisia olosuhteita muita *E. coli* –serotyyppejä paremmin (Pell 1997). Bakteri elää nautaeläinten suolistossa, josta se voi ulostesaastutuksen seurauksena pilata lihan ja maidon. *E. coli* bakteeri voi levitä elintarvikkeisiin myös lannoitteena käytettävän lannan välityksellä (Kudva ym. 1998). Suomessa todettiin vuonna 2009 kahdeksalla tilalla *E. coli* O157:H7 positiivisia nautoja (Zoonosikeskus 2010).

Kampylobakteerin lisääntymisestä ja elinkyvystä orgaanisessa jätteessä ei ole tarkkaa tietoa. Sen säilymistä elinkykyisenä jätearaaka-aineessa on pidetty mahdollisena, mutta lisääntymistä epätodennäköisenä (Elving 2009). Sen sijaan puhdistamolietteestä ja sian liettelannasta on eristetty *Campylobacter jejuni*-bakteereita. Käsiteltäessä puhdistamolietettä biokaasuprosessissa on havaittu kampylobakteerien tuhoutuvan, mikäli käsittely- ja jälkivarastointiaika on riittävän pitkä (Sahlström 2003). Mesofiilisessä reaktorissa ei kampylobakteerin määrä vähene käsittelyajan ollessa 22 vuorokautta (Horan ym. 2004). Termofiilisessä prosessissa (53 ± 0,3°C) *Campylobacter jejuni* -bakteeria ei ole todettu enää 7 vuorokauden käsittelyn jälkeen (Wagner ym. 2008).

Kampylobakteerit ovat merkittäviä taudinaiheuttajia ja todettuja rekisteröityjä tautitapauksia ihmisillä on Suomessa vuosittain jopa yli 4000 (THL 2008 - 2010). Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen EFSA on tehnyt selvityksen broilerinlihan merkityksestä kampylobakteeritartuntojen lähteenä EU alueella. Selvityksessä on arvioitu, että 20 – 30 % ihmisten kampylobakteeritartunnoista on broilerinlihaperäisiä (EFSA 2010). Jopa 50 – 80 % kaikista kampylobakteeritartunnoista arvioidaan olevan broilereista lähtöisin joko suorasti tai epäsuorasti. Suomessa on arvioitu, että kolmannes kampylobakteeritartunnoista voi liittyä broilereihin ja viidennes nautakarjaan (Evira 2010b). Suomessa on myös saastunut juomavesi aiheuttanut kampylobakteeriepidemioita.

*Yersinia*-bakteereja esiintyy yleisesti eläinten suolistossa ja ympäristössä. *Yersinia*-lajeista voivat tautia aiheuttaa *Y. enterocolitica* ja *Y. pseudotuberculosis*. *Yersinia* spp. pysyy elin- ja kasvukykyisenä hyvin alhaisissa lämpötiloissa ja voi saastuttaa elintarvikkeet ulosteen, maaperän tai kasteluveden välityksellä (Zoonosikeskus 2010). Viime vuosina on Suomessa *Y. pseudotuberculosis* noussut merkittäväksi ruokamyrkytyksiä aiheuttavaksi bakteeriksi (Niskanen 2010). Bakterin kantajiksi on todennettu jopa 14 % tiloilla tutkituista lihasioista. Lisäksi on voitu osoittaa bakteerin aiheuttamaa kasvissaastutusta kiinankaalilla, porkkanalla ja jäävuorisalaatilla (Zoonosikeskus 2010, Niskanen 2010).

*Bacillus* spp. ja *Clostridium* spp. ovat itiöiviä bakteereja, joiden vegetatiiviset solut voivat muodostaa erittäin pysyviä sisäitiömuotoja. Itiöt kestävät elinkykyisinä vaikeissakin ympäristöolosuhteissa sietäen hyvin myös kuumuutta. Itiömuodot voivat elää maaperässä vuosikymmenten ajan. Niiden metabolinen

aktiivisuus on kuitenkin heikko (Elving 2009). *Bacillus* spp. ja *Clostridium* spp. -sukujen bakteereista useimmat muodot ovat vaarattomia. Tautia aiheuttavia lajeja ovat esim. *B. anthracis*, *C. botulinum*, *C. chauvoei*, *C. haemolyticum*, *C. septicum*, *C. sordellii* ja *C. tetani* sekä tietyissä olosuhteissa *B. cereus* ja *C. perfringens* (Bagge, 2009). *Bacillus* ja *Clostridium* -sukujen useita eri bakteereja on eristetty lannasta, teurastamon sivutuotteista ja biojätteistä (Bagge, 2009). *Clostridium* spp. -bakteereja on eristetty myös maastuneesta kasvimateriaalista. Kestäviä itiömuotoja muodostavat bakteerit ovat ongelmallisia, koska itiöitä muodostavista lajeista mm. *C. perfringens* ja *Bacillus* spp. bakteerien on osoitettu selviytyvän elin-kykyisinä tunnin kestäneestä hygienisoinnista 70°C:ssa (Bagge ym. 2005).

Virukset ovat yleisimpiä vatsaperäisten tautien aiheuttajia maailmassa. Tartunta voi tapahtua ulosteperäisen saastutuksen, kosketus- tai pisaratartunnan välityksellä. Virukset voivat kestää hyvin erilaisia käsittely- ja ympäristöolosuhteita. Ne ovat useissa tapauksissa jopa kestävämpiä kuin bakteerit ja loiset. Virukset eroavat bakteereista olennaisesti siten, etteivät ne voi lisääntyä isäntäeliön ulkopuolella. Toisaalta virusten tartunta-annos saattaa olla hyvin pieni. Virusten pienestä koosta johtuen ne kulkeutuvat usein helpommin ympäristöön kuin bakteerit ja loiset aiheuttaen mm. juomaveden pilaantumista. Orgaanisessa ruokajätteessä mielenkiinnon kohteena ovat mm. enterovirukset, adenovirukset, kalivirukset, rotavirukset, hepatiitti A ja E -virukset. Sian lietelannasta on eristetty Porcine Parvovirus (PPV), jota on käytetty usein indikaattoriorganismina erilaisissa käsittelyissä. Kaikki edellä mainitut virukset ovat lämpökestäviä. Parvoviruksen on todettu säilyvän osittain aktiivisena jopa 80°C:n lämpötilassa 15 minuutin jälkeen (Srivastava ja Lund 1980). Useita virusryhmiä voidaan olettaa esiintyvän jätevedenpuhdistamon lietteissä, koska ne erittyvät sairaiden ihmisten ulosteeseen ja kulkeutuvat jätevetteen sekä jätevesilietteeseen (Suomen standardisoimisliitto SFS 2009).

Loiset elävät isäntäeliössä käyttäen sitä ravintonaan ja ollen siitä riippuvaisia. Sen sijaan loisten erittämät kystat ja ookystat voivat levitä ympäristöön ulosteessa ja selvitä pitkiä aikoja ankarissakin olosuhteissa. Kryptosporidit (*Cryptosporidium* spp.) ja Giardia (*Giardia* spp.) ovat esimerkkejä alkueläimistä, jotka voivat infektoida sekä ihmisiä että eläimiä. Ihmisten saamien tartuntojen lähteenä on tuotantoeläimiä yleisemmin toinen ihminen (Olson ym. 2004). Kryptosporidien ookystia ja Giardiaiden kystia on eristetty jätevedenpuhdistamoiden lietteestä ja useiden eri eläinten ulosteesta (Vuorinen 2003, Olson ym. 2004, Carlander 2006). Sian lietelannasta on eristetty mm. loisena suolistossa elävän sian suolinkaisen (*Ascaris suum*) munia. Sen munat säilyvät lannassa pitkään tartuntakykyisinä (Bendixen 1994).

Taulukko 9. Taudinaiheuttajat ja niiden ominaisuudet sekä tuhoutuminen. [1] Bendixen 1994, [2] Sahlström 2008, [3] Wagner ym. 2008.

Taudinaiheuttaja	Raaka-aine	Tuhoutuminen
Itiölliset bakteerit - <i>Clostridium perfringens</i>	biojäte	painesterilointi 133°C 20 min 3 bar
<i>Porcine Parvovirus</i> (PPV)	sian lietelanta	35°C 21 vkoa <sup>[1]</sup> ; 55°C 8 vrk <sup>[1]</sup>
<i>Escherichia coli</i> - bakteeri	biojäte	55°C 60 min <sup>[2]</sup>
<i>Enterococci</i>	biojäte	70°C 30 min <sup>[2]</sup>
Salmonella	jätevedenpuhdistamoliete	53°C 24 h <sup>[3]</sup>
<i>Listeria monocytogenes</i>	jätevedenpuhdistamoliete	53°C 24 h <sup>[3]</sup>
<i>Campylobacter</i>	jätevedenpuhdistamoliete	53°C 7 vrk <sup>[3]</sup>

### 5.2.1.2 Kasvitautilien aiheuttajat

Kasviperäisissä jätteissä voi esiintyä erilaisia sieni-, bakteri- tai virusperäisiä taudinaiheuttajia. Kasviperäisistä jätteistä on pystytty eristämään esim. perunan, sipulin, papujen, tomaatin, kurkun ja salaatin sienitauteja (Colleran 1999).

#### Sieni- ja bakteeritaudit

Schnürer ja Schnürer (2006) tutkivat eri sienilajien selviytymistä biokaasuprosessista ja hygienisoinnissa (70 °C, 1 h). Useat lajit selvisivät hygienisoinnista, mutta meso- ja termofiilinen biokaasuprosessi vähensivät sienilajistoa. Vaikka lajimäärä väheni, elinkykyisten lajien pesäkkeitä muodostava määrä (pmy) ei vähentynyt. Mesofiiliprosessista selviytyneet olivat lähinnä lämpökestäviä *Talaromyces* ja *Paecilomyces*-sukujen lajeja. Termofiilisesta prosessista selviytyi vain *T. crustaceus* ja *T. lanuginosus*. Mädätysjäännöksen jälkivarastointi (1 kk) sen sijaan vähensi sienten määrää.

Möhöjuuri (*Plasmodiophora brassicae*) on sienitauti, joka vahingoittaa mm. kaaleja, retiisiä ja naurista. Möhöjuuren infektiokyky ei heikentynyt mesofiiliprosessissa lainkaan, mutta 55 °C:een prosessi kahden viikon viipymällä heikensi sitä huomattavasti (Engeli ym. 1993). Myös Ryckeboer ym. (2002) tutkimus vahvistaa möhöjuuren tuhoutumisen termofiilisessä biokaasuprosessissa, jossa se eliminoitui täydellisesti kymmenessä tunnissa. Bakteri *Ralstonia solanacearum* ei myöskään selviä termofiilisessä biokaasuprosessista (Ryckeboer ym. 2002).

#### Virukset, rikkakasvit ja loiset

Pelkkä anaerobiprosessi ei yksin riitä tuhoamaan tupakan mosaiikki-virusta (TMV), ja vähintään 19 päivän jälkikompostointi on tarpeen TMV:n täydelliseen tuhoutumiseen (Ryckeboer ym. 2002). Rikkakasvien vastineena tutkittujen tylppälehtihierakan (*Rumex obtusifolius*), verihirssin (*Digitaria sanguinalis*) ja tomaatin (*Lycopersicon lycopersicum*) siementen itämiskyvyn täydellisen eliminoitumisen kannalta on suositeltavaa käyttää termofiilistä prosessia ja 14 vuorokauden viipymää (Engeli ym. 1993). Sukkulamatoihin kuuluvien *Heterodera schachtii* ja *Meloidogyne incognita* tuhoutuivat termofiilisessä biokaasuprosessissa 12 tunnissa ja *H. schachtii* kystat 30 minuutissa (Ryckeboer ym. 2002).

Yhteenvedon voidaan todeta, että seuraavat lajit eivät välttämättä tuhoudu termofiilisen biokaasuprosessin aikana: *Fusarium oxysporum* f.sp. *melongenae* eli taimipolte, *Olpidium brassicae*, *Plasmodiophora brassicae* (itiöt), *Streptomyces scabies*, TMV, tupakan Tobacco rattle virus (TRV) ja *Xanthomonas malvacearum* sekä perunan Potato spindle tuber -viroidi (PSTVd) (EPPO 2008).

### 5.2.2 Taudinaiheuttajien ominaisuudet

Taudinaiheuttajien selviytymiseen vaikuttavat sekä fysiologiset että biologiset tekijät. Osa näistä tekijöistä vaikuttaa taudinaiheuttajien selviytymiseen ja osa puolestaan niiden kasvun estymiseen. Käytännössä jäteraaka-aine antaa aina hyvät edellytykset taudinaiheuttajien kasvuun toimien niiden kasvualustana. Käsittelyprosessin toimivuudella ja prosessin eri tekijöiden yhteisvaikutuksella on merkitystä taudinaiheuttajien kasvupotentiaaliin. Biokaasuprosessissa merkittävimmiiksi tekijöiksi taudinaiheuttajien tuhoutumisessa on osoittautunut käsittelylämpötila ja -aika (Sahlström 2003). Lämpötilan ja ajan lisäksi myös metaanin tuotannolla sekä ammoniakkin ja haihtuvien rasvahappojen määrällä on vaikutus patogeenien selviytymiseen prosessissa (Skillman ym. 2009). Taulukossa 10 on esimerkkejä taudinaiheuttajien kasvuun vaikuttavista fysiologisista ja biologisista tekijöistä.

Taulukko 10. Taudinaiheuttajien kasvuun vaikuttavat fysiologiset ja biologiset tekijät. [1]Carrington 2001. [2]Elving 2009, [3]Skillman ym. 2009, [4]Bagge 2009, [5] Kearney ym. 1993 [6]Sahlström 2003.

Vaikutus	
Lämpötila ja aika	Eri taudinaiheuttajilla on optimilämpötila-alueet, joissa niiden kasvu ja lisääntyminen on nopeaa. Suurin osa taudinaiheuttajista selviytyy alhaisissa lämpötiloissa lisääntymättä tai niiden lisääntyminen on hidasta <sup>[1]</sup> . Lämpötilan nostaminen yli 50°C:een estää useimpien taudinaiheuttajien kasvua <sup>[2]</sup> . Taudinaiheuttajat vähenevät tunnetusti ajan kuluessa. Siihen kuinka pitkältä ajanjaksosta on kyse vaikuttavat ympäristöolosuhteet, kuten lämpötila ja kosteus <sup>[3]</sup> . Itiölliset muodot ovat kuitenkin kestäviä ja niiden tuhoutumiseen vaaditaan hyvin korkeita käsittelylämpötiloja <sup>[2]</sup> . Joissakin tapauksissa itiömuodot voivat jopa aktivoitua lämpökäsittelyn aikana tai säilyä vuosikymmenien ajan maaperässä esim. <i>Bacillus antracis</i> <sup>[4]</sup> .
pH	Monet taudinaiheuttajat viihtyvät neutraalissa ympäristössä (pH 6,6 – 7,5). Useimpien taudinaiheuttajien kasvu estyy pH:n ollessa alle 4 tai yli 11 <sup>[2]</sup> .
Kosteus	Taudinaiheuttajat tarvitsevat selviytyäkseen kosteutta. Aktiivisen veden (aw) määrä vaikuttaa taudinaiheuttajien käytettävissä olevaan kokonaisvesipitoisuuteen. Optimalue on yli 0,9. Puhtaanveden aw on 1. Kemialliset aineet, kuten suolat tai sokerit pienentävät veden aktiivisuutta.
Ravinteet	Taudinaiheuttajat tarvitsevat elääkseen ja lisääntyäkseen ravinteita, kuten hiiltä, vetyä, happea ja typpeä. Eri taudinaiheuttajat ovat kuitenkin ravinteiden suhteen spesifisiä. Jotkut, kuten <i>Clostridium</i> -suvun bakteerit, pystyvät lisääntymään myös hapettomissa olosuhteissa. Ravinteet aiheuttavat myös kilpailua ja voivat siten rajoittaa taudinaiheuttajien selviytymistä. <sup>[5]</sup>
Mikro-organismit	Prosessissa olevat mikro-organismit kilpailevat keskenään elintilasta. Biokaasuprosessissa on mm. metaania tuottavien mikro-organismien todettu vähentävän patogeenien määrää.
Haihtuvat rasvahapot (VFA)	Haihtuvat rasvahapot vaikuttavat bakteerien selviytymiseen biokaasureaktiorissa. VFA:n toksisuuteen taudinaiheuttajille vaikuttaa mm. käsiteltävän massan pH. VFA:n on osoitettu tuhoavan taudinaiheuttajia etenkin silloin, kun pH arvo on alhainen <sup>[6]</sup> .
Muut tekijät	Erilaiset orgaaniset ja epäorgaaniset yhdisteet, esimerkiksi vapaan ammoniakin määrä, voivat vaikuttaa taudinaiheuttajien lisääntymiseen.  Matriisin partikkelikoko vaikuttaa siihen, miten laaja pinta-ala taudinaiheuttajilla on kasvualueena käytettävissä.  Säteilyttämällä voidaan tuhota taudinaiheuttajia. Mikro-organismit ovat herkkiä auringon UV-säteilylle <sup>[1]</sup> .

Käsittelyprosessin hallinta voidaan toteuttaa valitsemalla seurattavaksi sellaisia fysiologisia ja biologisia tekijöitä, joiden tiedetään tehokkaasti vähentävän taudinaiheuttajien esiintymistä. Biokaasulaitoksessa

helpoiten seurattavia käsittelyparametreja taudinaiheuttajien tuhoutumisen ja niiden kasvun estämisen kannalta ovat lämpötila, viipymä ja pH. Lämpötila ja viipymä ovat näistä tärkeimpiä, koska riittävän kuumennuksen on varmimmin osoitettu tuhoavan taudinaiheuttajia.

### 5.2.3 Indikaattorimikrobit

Indikaattorimikrobeja käytetään osoittamaan käsittelyn tehokkuutta ja ilmentämään taudinaiheuttajien esiintymistä. Niiden määrän lisääntymisen ja vähenemisen on osoitettu indikoivan myös taudinaiheuttajien määrää tutkittavassa matriisissa. Lisäksi monet taudinaiheuttajat voivat esiintyä alhaisempina pitoisuuksina tai olla muutoin hankalasti osoitettavissa indikaattorimikrobeihin verrattuna (Sahlström 2003). Indikaattorimikrobeja tulee esiintyä luontaisesti suuria määriä analysoitavassa matriisissa, jotta käsittelyn tehokkuutta niiden avulla on mahdollista arvioida (Ottoson 2005).

Selvitykseen valittiin indikaattorimikrobeiksi koliformiset bakteerit, *Escherichia coli* (eli *E. coli* joka sisältyy koliformisiin bakteereihin), enterokokit (eli aikaisemmin kutsutut fekaaliset streptokokit), sulfiittia pelkistävät klostridit (itiölliset) ja salmonella. Valitut indikaattorimikrobit ovat sellaisia, joita oletetaan esiintyvän laitoksilla käsiteltävissä raaka-aineissa luonnostaan runsaasti. Koliformisia bakteereja esiintyy tyypillisesti suuria määriä orgaanisissa jätteissä (Elving 2009). Koliformisista bakteereista *E. coli* ilmentää hyvin ulostesaastutusta (Kudva ym. 1998, Ottoson 2005). Enterokokkien on todettu olevan kestävämpiä kuin koliformien. Tästä syystä ne soveltuvat hyvin käsittelyn tehokkuuden indikaattorimikrobeiksi (Bitton 1999). Niiden on todettu ilmentävän myös ulosteperäisten virusten tuhoutumista (Berg ym. 1980). Enterokokit ovat suolistobakteereja, mutta niiden on todettu soveltuvan hyvin myös biojätteen käsittelyn hygieenisyyden indikaattoreiksi (Larsen ym. 1994). Sulfiitteja pelkistäviä klostrideja käytetään ilmentämään käsittelyn tehokkuutta bakteerien itiöllisiin muotoihin. Sulfiittia pelkistävät klostridit kuvaavat lähinnä ulosteperäisen *Clostridium perfringens* bakteerin itiöiden määrää tutkittavassa matriisissa, mutta niiden on havaittu ilmentävän myös loisten vähenemistä käsittelyn aikana (Hijnen ym. 2000, Ottoson 2005). Salmonellan valinta indikaattoriksi perustuu sen merkittävyyteen tautia aiheuttavana bakteerina. Lisäksi se on yleinen taudinaiheuttaja lannassa ja puhdistamolieteteissä (Jepsen ym. 1997).

## 5.3 Materiaalit ja menetelmät

Näytteitä otettiin kolmelta eri biokaasulaitokselta kolme kertaa vuoden 2010 aikana (20.4./11.5., 25.5./14.6. ja 20.9./27.9.). Prosessin eri vaiheista otetuista näytteistä tutkittiin hygieeninen laatu, stabiilisuus ja toksisuus. Hygieniamääritykset tehtiin suoraan otetuista näytteistä. Stabiilisuus- ja toksisuusmäärittäyksiä tehtiin sekä suoraan näytteistä että seostettuna joko turpeeseen tai peltomaata simuloivaan maaseokseen (OECD standardimaa).

Tässä osuudessa on näytteistä käytetty seuraavia merkintöjä:

MJ	Mädätysjäännös
KJ	Kuivajae
KJb	Kuivajae, 150 kg NH <sub>4</sub> -N/ha
RV	Rejektivesi
RAE	Kuivarae; mädätysjäännöksestä rakeistettu lannoite
RAEb	Kuivarae, pitoisuus vastasi MTT peltokokeita
S	näytteet seostettu standardimaahan
T	näytteet seostettu turpeeseen

Näytteistä määritettiin seuraavat parametrit:

- Kemialliset analyysit: pH, johtokyky, kiintoaineet, ammoniumtyppi, liukoinen fosfori, kokonaisfosfori ja haihtuvat rasvahapot (MTT:n laboratorioissa)
- Hygieniamääritykset: koliformiset bakteerit, enterokokit, sulfiittia pelkistävät klostridit ja salmonella (MTT:n laboratorioissa)
- Orgaaniset haitta-aineet sekä lääkeaineet (alihankintana MTT:n kautta)
- Seosten perusanalyysit: pH, johtokyky, kuiva-aine, orgaaninen aines, tilavuuspaino (Eviran ja VTT:n laboratorioissa)
- Stabiilisuus ja toksisuus (Eviran ja VTT:n laboratorioissa) ks. taulukko 11.

Stabiilisuus- ja toksisuustuloksia sekä kemiallisia analyysituloksia käsiteltiin tilastollisesti ostopalveluna. Kolmannen näytteenottokerran seostetuista näytteistä teetettiin viljavuusanalyysit ostopalveluna.

### 5.3.1 Stabiilisuus- ja toksisuus

Biokaasulaitosten tuotteita käytetään tyypillisesti lannoitteena, joten näytteet seostettiin ennen toksisuus- ja stabiilisuustestejä joko turpeeseen tai peltomaata simuloivaan maaseokseen (standardimaa) niiden tilavuuspaino huomioiden. Seoksiin lisättiin kaupallista hivenravinneseosta ja seosten pH säädettiin puutarhakalkilla. Standardimaahan seostettujen näytteiden pH oli keskimäärin 7,5 (vaihteluväli 6,6 – 8,0) ja turpeeseen seostettujen 7,0 (vaihteluväli 6,7 – 7,7). Standardimaa valmistettiin laboratorioissa standardin (ISO DIS 11269-2, 2010) mukaisesti sekoittaen hiekkaa, kaoliinia ja turvetta suhteessa 7:2:1. Maalaji vastasi viljavuusanalyysin perusteella runsasmultaista hietamoreenia. Kolmannen näytteenottokerran yhteydessä käytettiin turpeen sijasta kaupallista lannoitettua turvepohjaista kasvualustaa. Turpeeseen ja standardimaahan seostettujen näytteiden pitoisuus määräytyi ympäristötuen ehtojen mukaisesti näytteiden ammoniumtyyppipitoisuuden perusteella (Maatalouden ympäristötuen sitoutumisehdot, 2010). Seosten tavoitearvo ammoniumtyyppipitoisuuden suhteen oli 90 kg/ha. Lisäksi kolmannen näytteenottokerran yhteydessä testattiin laitoksen 1 kuivajae pitoisuudella 150 kg NH<sub>4</sub>-N/ha (KJb) sekä laitoksen 3 RAE MTT:n peltokokeita vastaavalla pitoisuudella (RAEb). Kaikkien seosten kosteus säädettiin ns. nyrkkikosteuteen standardin 16086-1, 2011 mukaan. Seoksilla tehtyjen testausten lisäksi hiilidioksidintuottotestiä sekä Flash-testiä tehtiin myös suoraan näytteistä. Referenssinäytteinä kokeissa olivat käsittelemätön sian lietelanta ja epäorgaaninen NPK-lannoite.

Taulukko 11. Työssä käytetyt stabiilisuus- ja toksisuustestit.

Menetelmä	Kuvaus	Näytteen käsittely
Hiilidioksidintuottotesti	Stabiilisuustesti perustuen näytteen mikrobiologiseen aktiivisuuteen.	Näyte sellaisenaan ja seostettuna
Kasvatuskoe (EN 16086-1, 2011)	Maanparannusaineiden ja kasvualustojen laadun arviointi kontrolloiduissa olosuhteissa, jossa testikasveina kiinankaali ja ohra. Mitattavat parametrit ovat itävyys, taimien tuorepaino ja lehtien väri. Lisäksi arvioidaan silmämääräisesti versojen, lehtien ja juuriston kuntoa.	Näyte seostettuna
Krassin siementen itävyydesti (EN 16086-2, 2011)	Fytotoksisuustesti perustuen krassin siementen itävyyteen ja juurten pituuskasvuun (72 h) kontrolliin verrattuna.	Näyte seostettuna
Flash- eli valobakteeritesti (ISO 21338, 2010)	Kineettinen <i>Vibrio fischeri</i> -bakteerin bioluminesenssiin perustuva akuutti toksisuustesti	Näyte sellaisenaan ja seostettuna

Johtokyky oli turpeeseen seostetuissa näytteissä hieman matalampi kuin standardimaahan seostetuissa. Turveseoksissa johtokyky oli välillä 6,3 – 47,6 mS/m ja standardimaaseoksissa välillä 10,5 – 47,6 mS/m. Molemmissa seoksissa oli korkein johtokyky kuivaraetta sisältävissä seoksissa. Biokaasulaitosten lopputuotteita ei ole tarkoitettu kasvualustoiksi, eikä niille ole tästä johtuen asetettu lannoitevalmistelainsäädännössä johtokyvulle yläraja-arvoa. Sekoitettaessa kompostia tai vanhennettua puhdistamolietettä kivennäismaan sekaan on lannoitevalmistelainsäädännössä ko. tuotteen (kompostimulta) johtokyvyn yläraja-arvo 100 mS/m. Tässä tutkimuksessa biokaasulaitosten lopputuotteiden sekoittamisen turpeeseen ja stan-

dardimaahan katsottiin vastaavan kompostimullan valmistusta. Mittaustulosten perusteella seosten johtokyvyt ovat näin ollen matalia.

### 5.3.2 Hygienianäytteet

Biokaasulaitosten hygienisointiprosessien tehokkuutta selvitettiin tutkimalla näytteiden hygieniaanalysoimalla näytteistä salmonella, koliformiset bakteerit, enterokokit ja sulfiittia pelkistävät klostridit. Koliformisista bakteereista määritettiin *Escherichia coli*, muut koliformit ja kokonaiskoliformit. Näytteet otettiin kaikilta laitoksilta syötteestä ja biokaasureaktoriin jälkeen. Laitoksilla 1 ja 2 otettiin näytteet myös hygienisointikäsitteilyn jälkeen ennen biokaasureaktoriin syöttöä. Lisäksi näytteet otettiin laitosten eri lopputuotekäytännöistä: kuivajae, rejektivesi ja kuivarae (taulukko 12).

Taulukko 12. Laitoksista otetut hygienianäytteet.

Laitos 1	Laitos 2	Laitos 3
Esireaktori	Esireaktori	Esireaktori
Hygienisointiyksikkö	THP: Flash-tankki	Reaktori 1
Reaktori	Reaktori 1	Reaktori 2
Kuivajae (varastokasa)	Reaktori 2	Kuivajae <sup>1</sup> (lietesiiilo)
Rejektivesi	Kuivajae (suotonauha)	Rejektivesi <sup>1</sup> Kuivarae <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ei hyödynnetä sellaisenaan lannoitevalmisteenä

<sup>2</sup> hygienisointi rakeistusprosessissa

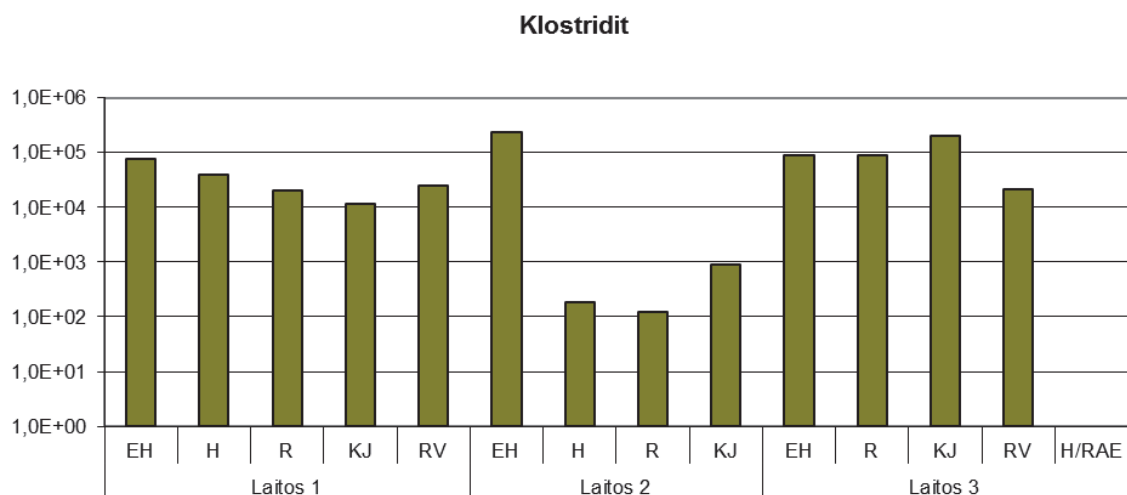
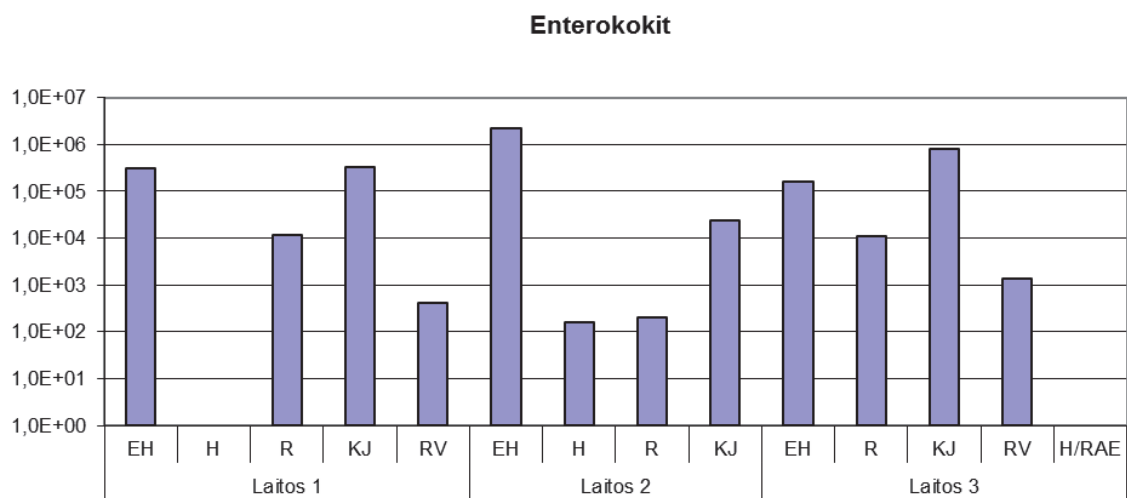
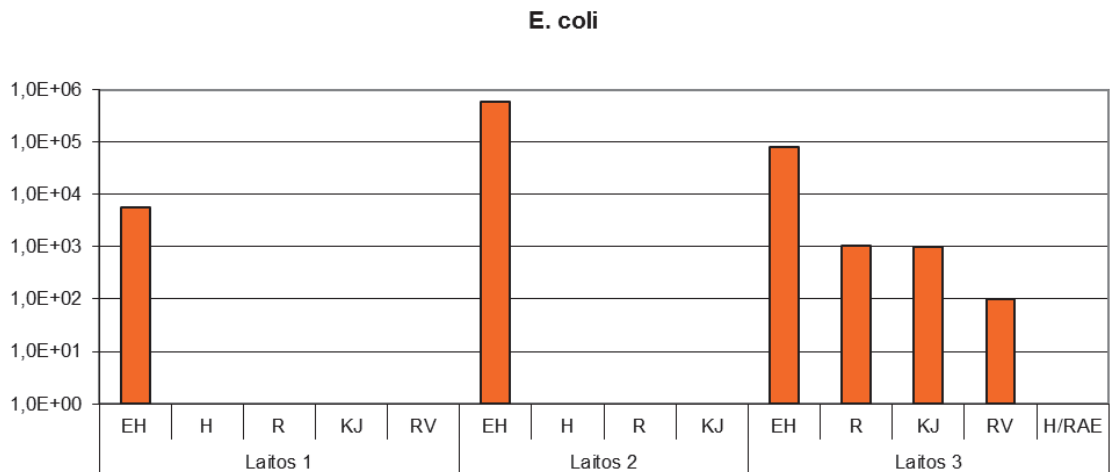
Hygienianalyysit tehtiin MTT:llä. *E. coli* ja muut koliformiset bakteerit määritettiin Harlequin *E. coli*/coliform (LabM)-maljalla (Baylis ym. 1999). Kvalitatiivisessa Salmonella-määrittämisessä käytettiin esirikastusta puskuroidussa peptonivedessä (BPW) ja rikastusta Rappaport-Vassiliadis (RV) liemessä ja viljelyä XLD- ja Rambach- maljoille (ISO 6579:1993). Salmonellan kvantitatiivisessa MPN (most probable number) -menetelmässä käytettiin XLD maljoja (ISO 6579:1993). SFS-menetelmiä käytettiin enterokokkien (SFS 3014: 1984) ja klostridien (SFS-EN 26461-2: 1993) määrittämisessä.

## 5.4 Tulokset

### 5.4.1 Hygieenisuus

Hygieniatulokset ovat pistokokeita ja osoittivat laitoksen näytteenottoajankohdan mukaista tilannetta. Tulosten perusteella hygienisointiyksikön jälkeen oli indikaattoribakteerien määrä laskenut jopa alle määrittämissärajaksi ottamatta itiöitä muodostavia bakteereja (sulfiitteja pelkistävät klostridit) (kuva 13). Esikäsitteilyn jälkeen otetuissa näytteissä oli laitosten 2 ja 3 syötteissä salmonellaa (taulukko 13). Laitoksen 2 syötteestä salmonella eristettiin jokaisella näytteenottokerralla (MPN: 11, 24 ja 46 pmy/g) ja laitoksen 3 syötteestä vain kerran (MPN: 9,3 pmy/g). Laitokselta 3 salmonellaa todettiin kerran reaktorinäytteestä (R2) (MPN: <0,03 pmy/g). Laitoksen 3 kuivajakeesta ja rejektivedestä otetuissa näytteissä ei kuitenkaan todettu salmonellaa. Kyseiset jakeet oli otettu ennen hygienisoivaa prosessia. Salmonellaa ei havaittu enää prosessien jälkeen tai varastossa olevista käsitteilyjäännöksistä otetuista näytteistä. Laitoksen 1 näytteistä salmonellaa ei havaittu.

Koliformisten bakteerien määrä mesofiilisen prosessin jälkeen vaihteli  $2\log_{10}$  ja  $4\log_{10}$  välillä. *E. coli* bakteerit jäivät laitoksella 3 tasolle  $3\log_{10}$ , joka vastasi käytännössä lainsäädännön vaatimaa tasoa. Enterokokkien ja itiöitä muodostavien bakteerien määrään ei mesofiilillä käsitteilyllä ollut suurta vaikutusta. Niiden määrät pysyivät samalla tasolla kuin syötteessä olevien bakteerien määrät (kuva 13).



Kuva 13. Hygieniaindikaattorien *E. coli* -, enterokokki- ja klostridibakteerien määrät laitosten eri prosessivaiheista ja lopputuotteista otetuissa näytteissä. Laitosten eri hygienisoivat prosessit (taulukko 3) näkyvät indikaattoribakteerien määrissä (lukuunotamatta EH näytettä). Näytteenottokohtat: EH ennen hygienisointia (syöte), H hygienisoinnin (laitos 2: steriloinnin) jälkeen, R reaktorin jälkeen, KJ kuivajae, RV rejektivesi, RAE kuivarae (hygienisointi H tapahtuu pelletöintivaiheessa).



Taulukko 13. Salmonellan esiintyminen laitosten eri prosessivaiheista ja lopputuotteista otetuissa näytteisä. Laitoksella 3 varsinainen hygienisointi tapahtuu vasta pelletöinnin (RAE) yhteydessä (taulukko 3). Lyhenteet kuten kuvassa 13.

	Laitos 1					Laitos 2					Laitos 3					
	EH	H	R	KJ	RV	EH	THP	R1	R2	KJ	EH	R1	R2	KJ	RV	RAE
I	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-

### Tuotteiden käsittely laitoksilla ja lopputuotteisiin liittyvät hygieniariskit

Laitoksessa käytettävät raaka-aineet ja niiden sisältämät taudinaiheuttajat asettavat vaatimukset käsittelyn tehokkuudelle. Tehokkaan käsittelyn lisäksi tulee kiinnittää huomiota kulkureittien suunnitteluun ja kaluston puhtaanapitoon mahdollisten ristikontaminaatioiden estämiseksi laitoksen likaiselta puolelta valmiiden tuotteiden puolelle siirryttäessä. Kaikissa selvityksessä mukana olevissa laitoksissa käsitellään raaka-aineita, joissa voi olla useita erilaisia taudinaiheuttajia. Lopputuotteiden hygieenisyyteen voidaan laitoksissa vaikuttaa mm. seuraavilla toimenpiteillä:

- raaka-ainevalinta
- tehokas esikäsittely (mm. partikkelikoko)
- käsittelyprosessin optimointi (mm. aika, lämpötila, ohivirtaukset, sekoittaminen)
- ristikontaminaation estäminen (mm. varastointi, kalusto, haittaeläinten torjunta)

#### Raaka-aineet

Käsiteltävien raaka-aineiden alkuperä vaikuttaa siihen, millaisia riskejä niissä on ja millaista käsittelyä niiltä edellytetään. Esimerkiksi eläimistä saatavien sivutuotteiden käsittelylle on komission asetuksessa sivutuotekohtaiset käsittelyvaatimukset. Käsiteltäessä useita erityyppisiä raaka-aineita, on käsittelyprosessin hyvä hallinta tärkeää. Riskit myös kasvavat sen mukaan, miten laajalta alueelta käsittelyyn otetaan raaka-ainetta. Tilakohtaisesti käsiteltäessä omalla maatilalla muodostuvia jätemateriaaleja ja kierrätettäessä valmis tuote takaisin omalla tilalla on riskien hallinta huomattavasti helpompaa kuin toimittaessa laajalla alueella. Selvityksessä mukana olevissa laitoksissa oli raaka-ainepohja ja lopputuotteiden käyttöalue laaja. Raaka-aineisiin liittyvä riskien hallinta edellyttää kaikissa tapauksissa tehokasta käsittelyprosessia ja sen hallintaa. Keskeisenä raaka-aineisiin liittyvänä riskitekijänä on prosessissa mahdollisesti selviävien taudinaiheuttajien kulkeutuminen lannoitevalmisteiden mukana rehu- tai elintarvikeketjuun. Myös kasvi-taudinaiheuttajat voivat aiheuttaa merkittäviä haittoja selviytyessään prosessista ja jouduttua lannoitevalmisteina käytettäviin tuotteisiin.

#### Esikäsittely

Tehokkaalla esikäsittelyllä tarkoitetaan käsiteltävissä raaka-aineissa olevan inertin aineksen (mm. roskat, kivet) poistamista, raaka-aineen palakoon säätämistä ja valmistettavan syötteen riittävää sekoittamista. Roskaisuudella ei sinänsä ole vaikutusta tuotteen hygieenisyyteen, mutta se vaikuttaa lopputuotteen laatuun lannoitevalmisteena ja on siten tärkeä huomioida esikäsittelyn yhteydessä.

#### Palakoko

Palakoolla voidaan vaikuttaa taudinaiheuttajien tehokkaampaan tuhoutumiseen käsittelyn eri vaiheissa. Esimerkiksi pienikokoisten raaka-ainepartikkeleiden sisäosa kuumenee hygienisoinnissa tehokkaammin kuin suurikokoisten partikkeleiden. Suurikokoisissa partikkeleissa taudinaiheuttajat voivat säilyä partikkelin sisäosassa ja selviytyä siten kuumennuskäsittelystä. Tällöin hygienisointi epäonnistuu. Laitoksilla 1 ja 3 on sivutuoteasetuksen mukaan palakokovaatimuksena 12 mm. Laitoksella 2 ko. vaatimusta ei ole, koska käsiteltävänä on ainoastaan jätevedenpuhdistamon lietteitä.

## Sekoittaminen

Raaka-aineiden tehokas sekoittaminen on tärkeää, että käsiteltävä syöte on tasalaatuista ja hygienisoinnin aikana koko massa saadaan kuumenemaan kauttaaltaan (Smith ym. 2005). Jos sekoittaminen varsinkin hygienisoinnin aikana on puutteellista, se voi johtaa siihen, että osa materiaalista jää ns. kylmiin kulmiin jossa lämpötila ei nouse tarpeeksi korkealle, tarpeeksi pitkäksi ajaksi, ja hygienisointi ei varmistu koko materiaalissa.

Laitoksella 1 käsitellään pääasiassa lietemäisiä jätejakeita. Kiinteiden jätejakeiden käsittelyyn on myös valmius. Kaikki laitokselle vastaanotettava raaka-aine kulkee murskaimen läpi, jolla varmistetaan enintään 12 mm:n palakoko. Murskattu raaka-aine johdetaan sekoitussäiliöön ja siitä hygienisointiin, jossa materiaali sekoitetaan samalla kuin se kuumennetaan.

Laitoksella 2 käsitellään ainoastaan lietemäisiä jätejakeita. Koska liete tulee jätevedenpuhdistusprosessista, on siitä jätevedenpuhdistamolla eroteltu suuret kiinteät partikkelit.

Laitoksella 3 käsiteltävät raaka-aineet ovat hyvin erityyppisiä. Lietemäisille jätejakeille on erilliset vastaanottovarastot. Biojäte esikäsitellään murskaamalla ja erottamalla siitä rum-puseulalla ja metallin erottimella epäpuhtaudet. Biojäte sisältää mm. pakkausjätettä. Laitoksella 3 lopputuotteen laatuun voivat vaikuttaa biojätteen esikäsitteilyn ongelmat. Biojätteen mukana voi käsittelyprosessiin päätyä erilaisia epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet voivat vaikuttaa sekä lopputuotteen haitta-ainepitoisuuksiin että roskaisuuteen. Biojätteen lajittelun ohjeistamiseen tulee siten myös jatkossa panostaa. Etenkin muovijätteen erottamiseen biojätteen seasta tulee kiinnittää jatkossa enemmän huomiota. Biojätteen palakoko on esikäsitteilyn jälkeen enintään 12 mm.. Eri raaka-ainejakeet sekoitetaan keskenään vedetys- ja lämmitysvaiheessa ennen biokaasureaktoriin syöttöä.

## Käsittelyprosessin optimointi

Hygienisointikäsitteilyn onnistuminen on kaikilla laitoksilla tärkeää, koska biokaasuprosessit toimivat mesofiilisella lämpötila-alueella (noin 35°C). Mesofiilisen prosessin ei ole yksistään todettu olevan riittävä käsittely taudinaiheuttajien vähentämiseen (Horan ym. 2004, Sahlström 2003, Carrington 2001). Käsiteltävän raaka-aineen hygieenisyyttä voidaan kuitenkin mesofiilisellä prosessilla parantaa, jos toiminta reaktorissa saadaan optimoitua syötteen tasalaatuisuuden (dispersio), sekoittamisen ja käsittelyajan suhteen. Ohivirtausten ja kuolleiden alueiden minimointi ovat myös merkittäviä tekijöitä taudinaiheuttajien vähenemisessä. Näistä tekijöistä merkittävimiksi ovat osoittautuneet tehokas sekoitus reaktorissa ja ohivirtausten estäminen. (Smith ym. 2005). Panostoaminen hygienisointikäsitteily yhdistettynä tehokkaaseen sekoittamiseen ovat hyviä keinoja varmistaa mahdollisten ohivirtausten aiheuttamaa hygieniariskiä prosessissa.

Kaikki selvityksessä mukana olevat laitokset ovat tyypiltään täyssekoitteisia, joka lisää selvästi käsittelyn tehokkuutta reaktorissa. Vaikka laitoksissa on erillinen hygienisoiva käsittely, ei mesofiilisen käsittelyn merkitystä osana hygienisoivaa käsittelyä voida sulkea täysin pois. Etenkin Laitoksissa 1 ja 2, joissa syöte hygienisoidaan ennen mesofiilistä prosessia, on tärkeää prosessin optimaalinen toimivuus. Huono käsittely voi saada taudinaiheuttajat kasvamaan uudelleen. Optimaalisesti toimivassa biokaasureaktorissa metaania tuottavat metanogeenibakteerit estävät taudinaiheuttajien kasvun reaktorissa (Skillman ym. 2009).

Laitoksissa 1 ja 2 johdetaan raaka-aine esireaktorista hygienisointikäsitteilyyn. Hygienisointikäsitteily on toteutettu ko. laitoksilla panosprosessina, jonka toimivuus voidaan helposti todentaa. Panosprosessin etuna on, että käsiteltävän massan hygienisointiprosessi on helpompi hallita. Mahdollinen poikkeama hygienisoinnissa on korjattavissa syöttämällä panos uudelleen hygienisointiprosessiin. Laitoksen 3 terminen kuivaus hygienisointikäsitteilynä on sen sijaan jatkuvatoiminen prosessi. Jatkuvatoimisessa prosessissa on riskinä, että kaikki käsiteltävä materiaali ei ole optimaalista aikaa hygienisointikäsitteilyssä. Tämä saattaa mahdollistaa joidenkin taudinaiheuttajien selviytymisen prosessin läpi. Jatkuvatoimisessa hygienisointiprosessissa voidaan käsittely tehdä korkeammassa lämpötilassa, niin kuin Laitoksella 3 tehdään, jolloin riskiä taudinaiheuttajien selviytymisestä prosessin läpi voidaan vähentää.

Hygienisointikäsitteilyt ovat laitoksilla hyvin erilaiset. Laitoksen 1 hygienisointikäsitteilyssä nostetaan massan lämpötila 70°C:een tunnin ajaksi (pastörointi). Ko. hygienisointikäsitteily tehoaa yleensä hyvin useimpiin taudinaiheuttajiin, kuten koliformisiin bakteereihin, enterokokkeihin ja salmonellaan (Bagge ym. 2005, Mitscherlich 1984). Sen tehokkuuden itioitä muodostaviin bakteereihin on kuitenkin useissa

tutkimuksissa osoitettu olevan huono (Bagge ym. 2005, Carlin ym. 2000, Mitscherlich ym. 1984), koska niiden säilyminen myös äärimmäisissä ympäristöolosuhteissa on mahdollista (Nicholson ym. 2000). Näin ollen 70°C:een lämpökäsittelyllä ei voida taata, että raaka-aineessa mahdollisesti olevat haitalliset itiöitä muodostavat bakteerit saadaan inaktivoitua. Kohdassa 5.2.1.1. on kerrottu itiöivien bakteerien kestävyystä erilaisissa olosuhteissa.

Laitoksen 2 hygienisoinnissa saavutetaan korkean lämpötilan (150-160°C) lisäksi korkea paine (5 bar) 30 minuuttia kestävässä termisessä hydrolyysiprosessissa. Yhdistämällä hygienisointikäsittelyssä lämpötila, käsittelyaika ja paine voidaan saavuttaa hygieniataso, jossa merkitykselliset mikro-organismit, virukset ja suurin osa toksiineista tuhoutuu (EFSA 2009).

Hygienisointikäsittely laitoksella 3 tapahtuu prosessin lopussa biokaasuprosessin jälkeen. Käsittelyssä lietteen lämpötila nostetaan termisessä kuivauksessa 80°C:een lämpötilaan. Jatkuvatoimisessa prosessissa lietettä kierrätetään kuivausyksikön kautta useampia kertoja, jonka jälkeen kuivattu liete pelletoidaan. Pelletin eli rakeen kosteus on alle 10 %. Kuumennuskäsittely kestää kokonaisuudessaan noin tunnin. Termisen kuivauksen on osoitettu olevan tehokas hygienisointimenetelmä (Romdhana ym. 2009). Tutkimusten mukaan taudinaiheuttajien riittävä väheneminen edellyttää lämpötilan nostamista 80°C:een vähintään 10 minuutin ajaksi. Tällöin käsiteltävän massan kosteus saa olla enintään 10 %. Kosteuden vähentäminen estää tehokkaasti bakteerien kasvua. Liian nopea kosteuden poistaminen saattaa toisaalta vähentää haitallisten organismien lämpöherkkyyttä (Carrington 2001). Näin ollen laitoksen 3 kuivauskäsittelyn yhteydessä tapahtuvalla massan kierrättämisellä voidaan todennäköisesti parantaa tuotteen hygieenisyyttä. Rejektivesi erotetaan ennen tätä pelletöinnin aikana tapahtuvaa hygienisointia, ja rejektivesi siirtyy jäteveden puhdistamolle joiden käsittely jää tämän selvityksen ulkopuolelle. Hankkeessa ei myöskään selvitetty pellettien mikrobiologista aktiivisuutta maaperässä, eikä kostutetuista pelleteistä tehty mikrobiologisia analyysejä. Hiilidioksidin tuotokokeiden perusteella kostutus kuitenkin aiheuttaa rakeissa jonkinlaista aktiivisuutta, koska hiilidioksidin tuotto nousi kostutuksen seurauksena selvästi. Hiilidioksidin tuoton nouseminen perustuu tuotteen mikrobiologiseen aktiivisuuteen. Lisätietoja tarvitaan siitä, aktivoituvatko mikrobit uudelleen kostuessaan ja lähtevätkö mahdollisesti itiölliset bakteerit uudelleen kasvuun.

#### Ristikontaminaation estäminen

Biokaasulaitoksilla tapahtuu raaka-aineiden vastaanotto, siirto ja käsittely loogisesti likaiselta käsittelyalueelta puhtaammalle puolelle. Näin ollen ristikontaminaation riski prosessin aikana on vähäinen. Huomiota tulee kiinnittää valmiiden tuotteiden käsittelyyn, varastointiin ja kuljetukseen. Taudinaiheuttajia voi siirtyä valmiiseen tuotteeseen esim. käsittelyvälineistä ja kuljetuskalustosta, joilla on käsitelty taudinaiheuttajia sisältäviä aineksia, kuten lantaa ja lietteitä. Kalusto, jota käytetään maatilalla lannan kuljettamiseen, on osoitettu aiheuttavan biokaasulaitoksen käsittelyjäännösten kontaminoitumisen taudinaiheuttajilla (Bagge 2005). Kontaminaatoriski tulee huomioida myös välivarastoitaessa biokaasulaitoksen lopputuotteita maatilalla. Lisäksi erilaisten taudinaiheuttajien vektorieliiminä voivat toimia esim. linnut ja jyr-sijät. Haittaeläinten torjuntaan tulee kiinnittää huomiota sekä laitoksella että varastopaikoissa.

#### Tuotteiden varastointi

Laitoksilla 1 ja 2 on kuivajakeelle erillinen varastohalli, johon kuljetin siirtää kuivajakeen suoraan kuivausprosessista. Lisäksi laitoksella 1 on mädätysjäännökselle erillinen varastosäiliö. Nestemäiset jakeet varastoidaan säiliössä. Laitoksella 3 on prosessin jatkeena pellettivarasto. Rejektivesi johdetaan jätevedenpuhdistamolle. Taudinaiheuttajien lisääntymisen kannalta suurimman riskin kaikilla laitoksilla aiheuttavat kuljetuskaluston ja työkonien välityksellä tapahtuva kontaminaatio kuivajakeeseen tai pelletteihin.

Varastoinnilla voi olla vaikutusta myös tuotteen hygieenisyyteen. Varastointiajan on osoitettu vähentävän joidenkin taudinaiheuttajien määriä (Vuorinen ym. 2003). CENin teknisessä raportissa on jätevedenpuhdistamolietteiden pitkäaikainen varastointi mainittu yhtenä käsittelymenetelmänä. Tällöin varasto aika on laskettava siitä lähtien kun viimeinen ”tuote-erä” on lisätty kyseiseen varastoon. Varastointiajan vaikutus tulisikin huomioida kuivajakeen varastokierrossa. Tällöin voidaan entisestään vähentää mahdollisten prosessissa selviytyneiden taudinaiheuttajien määrää. Rakeen varastointiajalla ei ole todennäköisesti vaikutusta taudinaiheuttajien määriin tuotteen korkea kuiva-ainepitoisuuden vuoksi. Nestemäisten jakeiden pitkäaikainen säilytys voi puolestaan aiheuttaa niiden pilaantumisen. Nestemäisten tuotteiden tulisi olla mahdollisimman hygieenisia, jotta mikrobikäyminen ei niissä pääse käyntiin. Nestemäisiä tuotteita kannattaakin varastoida pienissä varastosäiliöissä, joista ne voidaan ohjata mahdollisimman nopeasti käyt-

töön. Laitoksilla lannoitevalmisteiksi tarkoitettujen tuotteiden varastokierron pituus vaihtelee ja on pimmillään vajaa vuosi.

### Hygienisoinnin tehokkuus

Hygieniariskin arvioiminen ei ole mahdollista vähäisten näytteenotokertojen perusteella. Lisäksi yksittäinen näyte valtavasta erästä ei ole kovinkaan edustava. Tulokset antavat kuitenkin viitteitä siitä, miten eri laitosten hygienisointiprosessit vaikuttavat erityyppisten mikrobin tuhoutumiseen. Salmonellaa ei havaittu enää prosessin jälkeen tai varastossa olevista käsittelyjäännöksistä otetuissa näytteissä. Salmonellaa esiintyy tyypillisesti käsittelemättömissä puhdistamolietteisä, joten sen esiintyminen laitosten 2 ja 3 syötteissä ei ollut yllätys. Laitoksen 2 THP käsittely tuhoaa todennäköisesti salmonellan, joten hygienisoinnin jälkeen sitä ei enää eristetty muista näytteistä.

Laitos 3 tekee tulosten tarkastelusta mielenkiintoisen, koska laitoksella hygienisointikäsitteily tapahtuu vasta prosessin lopussa. Laitoksen 3 näytteistä eristettiin salmonella myös mesofiilisen käsittelyn jälkeen molemmista reaktoreista otetuista näytteistä. Tulos todistaa sen, jonka muut tutkijat ovat aiemmin todenneet, että mesofiilinen prosessi ei ole riittävä käsittely taudinaiheuttajien tuhoamiseen (Horan ym. 2004, Sahlström 2003, Carrington 2001). Laitoksen 3 kuivajakeesta ja rejektivedestä otetuissa näytteissä ei kuitenkaan todettu salmonellaa. Ko. jakeet oli otettu ennen hygienisoivaa prosessia. Näytteenotto ei välttämättä kuvannut laitoksen toimintaa pitkällä aikavälillä, joten tulosten perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä salmonellan tuhoutumisesta kiinteän ja nestemäisen fraktion erotusprosessin yhteydessä. Koska rejektivesi erotetaan ennen varsinaista hygienisointia (pelletointiä) Etapin laitoksessa, ei voida varmistua rejektiveden hygienisesta laadusta näiden tulosten perusteella.

Verrattaessa eri laitosten hygienisointikäsitteilyjen tehokkuuksia keskenään voitiin niissä havaita selviä eroja etenkin vaikutuksessa sulfiitteja pelkistävien klostridien määrään. Laitoksessa 1 hygienisointi 70°C:ssa tunnin ajan ei riittänyt niiden tuhoamiseen. Klostridien määrä pysyi koko prosessin ajan samana varastossa oleviin käsittelyjäännöksiin saakka. Vastaava havainto on tehty myös aiemmissa tutkimuksissa (Bagge ym. 2005, Bagge ym. 2010). Laitoksella 2 käytössä oleva terminen hydrolyysiprosessi vähentää klostridien määrää, mutta ei tuhoa niitä täysin. Vähennemä on kuitenkin 3 log<sub>10</sub>, jota voidaan pitää merkittävänä. Hygienisoinnin jälkeen ei itiöiden määrä enää kasva reaktoreissa. Itiöivien bakteerien määrä jäi vähäiseksi myös lopputuotteista otetuissa näytteissä. THP prosessi vaikuttaa myös tehokkaalta itiöiviin bakteereihin. Tätä puoltaa myös se, että itiöivien bakteerien määrä laitoksella ei lisääntynyt THP käsittelyn jälkeen reaktoreissa tai lopputuotteissa. Laitoksen 3 lopussa oleva terminen kuivaus oli näytetulosten perusteella erittäin tehokas prosessi tuhoamaan myös itiöivät bakteerit. Tarvitaan kuitenkin lisäselvitystä siitä, pääsevätkö ne uudestaan kasvuun kosteuden lisääntyessä. Sulfiitteja pelkistävien klostridien määrä jäi kaikissa rakeista otetuissa näytteissä alle määritysrajan.

### Lopputuotteiden hygieenisuus

Asianmukaisesti käsiteltyjä biokaasulaitosten lopputuotteita voidaan pitää niiden hygieenisyyden perusteella turvallisina orgaanisina lannoitevalmisteina, vaikka osa itiöllisistä bakteereista selviytyy hygienisointikäsitteilystä (70°C, 60 min). Itiöiviä bakteereja esiintyy yleisesti ympäristössä, eikä biokaasulaitosten lopputuotteiden voida tästä syystä katsoa aiheuttavan niiden osalta merkittävää riskiä (Bagge 2009).

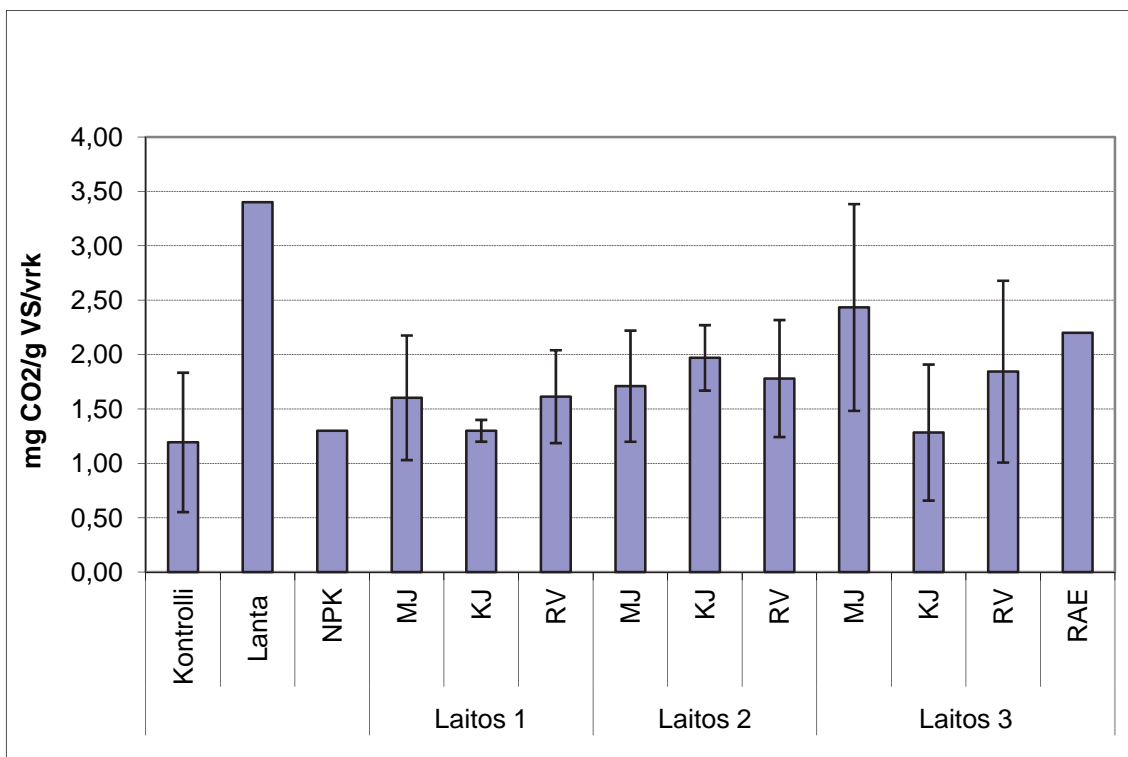
Mikäli lopputuotteeseen käsittelyn jälkeen jää taudinaiheuttajia, niiden säilymiseen maassa vaikuttavat monet eri tekijät. Tutkimusten mukaan taudinaiheuttajien säilyminen on heikompaa, mikäli levitettävää lopputuotetta ei sekoiteta maa-ainekseen (Venglosky ym. 2009). Maan pintakerroksessa taudinaiheuttajat tuhoutuvat nopeasti mm. auringon vaikutuksesta. Käsittelyssä tulisi kuitenkin huomioida, että sen tulee olla tehokkaampaa, jos käsiteltävässä raaka-aineessa tiedetään esiintyvän taudinaiheuttajia. Niiden tuhoutumiseen levityksen yhteydessä ei voida kuitenkaan luottaa. Osa taudinaiheuttajista voi säilyä maaperässä pitkään suotuisissa olosuhteissa ja aiheuttaa siten tautiriskin viljeltäessä rehu- tai elintarvikekäyttöön tarkoitettuja kasveja.

## 5.4.2 Stabiilisuus ja toksisuus

### 5.4.2.1 Hiilidioksidintuottotesti

Hiilidioksidintuottotesti kuvaa näytteen stabiilisuusastetta eli sen mikrobiologista aktiivisuutta ja näytteen helposti hajoavien hiiliyhdisteiden määrää. Testiä on käytetty erityisesti kompostituotteiden stabiilisuuden arviointiin (Itävaara ym. 2010). Myös tietyille organisille lannoitevalmisteille on asetettu arviointikriteerit kyseiselle parametrille kansallisessa lainsäädännössä. Lannoitteille lainsäädäntö ei kuitenkaan ole asettanut raja-arvoja mikrobiologiselle aktiivisuudelle, koska tuotteiden käyttömäärä sovelluskohteessa on huomattavasti pienempi. Tässä työssä selvitettiin, kuinka paljon biokaasulaitosten lopputuotteet nostivat maan mikrobiologista aktiivisuutta pelto-olosuhteissa.

Verrattaessa taustan aktiivisuuteen (peltomaata kuvaava standardimaa) voidaan todeta, etteivät lopputuotteet nosta peltomaan mikrobiologista aktiivisuutta merkittävästi (kuva 14). Korkein mikrobiologinen aktiivisuus saavutettiin, kun standardimaahan oli seostettu sian lietalantaa. Tulokset vahvistavat käsitystä, että käytettäessä biokaasulaitosten lopputuotteita lannoitteena tai maanparannusaineena maataloudessa stabiilisuuden määrittäminen ei ole välttämätöntä.



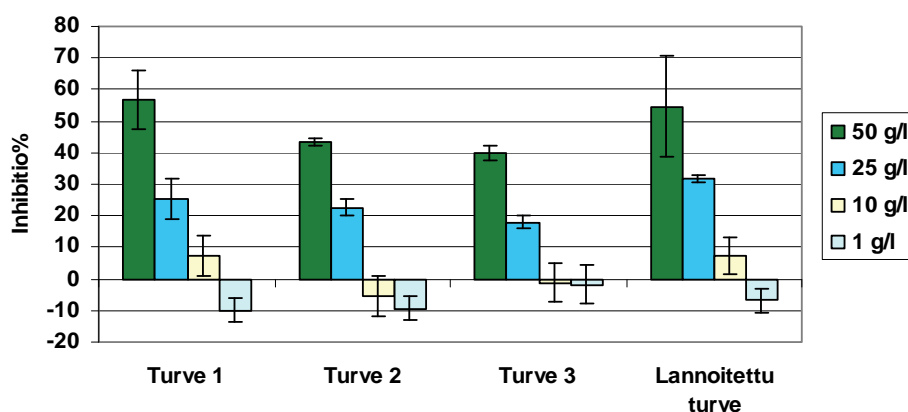
Kuva 14. Biokaasulaitosten lopputuotteiden hiilidioksidintuotto. Näytteet on seostettu standardimaahan (=kontrolli) siinä pitoisuudessa, kun niitä käytetään pelto-olosuhteissa (pitoisuudet laskettu ammoniumtyypen perusteella). Referenssinä kokeessa oli sian lietalanta ja kaupallinen epäorgaaninen lannoite (NPK). Tulokset on laskettu kolmen näytteenoton keskiarvona.

### 5.4.2.2 Akuutti myrkyllisyys

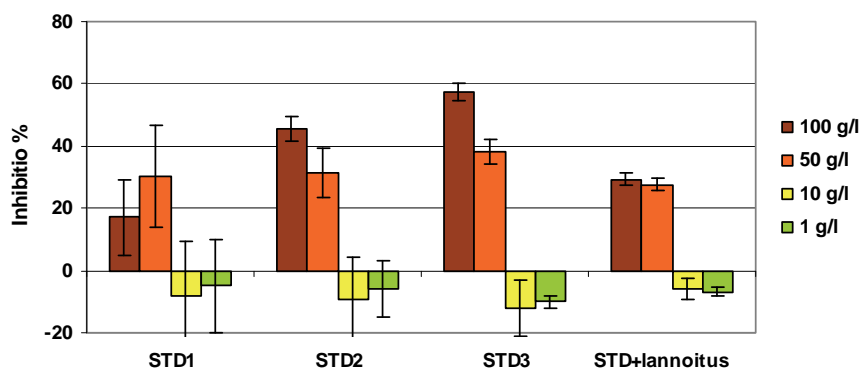
Biokaasulaitoksilta otetuista mädätysjäännöksistä (MJ) sekä niistä separoituista kuivajakeista (KJ) ja rejektivesistä (RV) määritettiin akuutti toksisuus kineettisellä valobakteeritestillä. Myös standardimaahan seostetut näytteet analysoitiin valobakteeritestillä. Lisäksi tutkittiin miten standardimaaseoksen komponenttina käytetty turve sekä sian lietalanta ja kaupallinen lannoite käyttäytyvät valobakteeritestissä.

Kuvassa 15 on esitetty turpeen vaikutus valontuoton inhibitioon kineettisessä valobakteeri-testissä. Kolme turvenäytettä ja yksi lannoitettu turve testattiin pitoisuuksilla 1 - 50 g /L. Turve vaikuttaa valobakteerin valontuottoon yli 10 g (tp)/L pitoisuuksissa. Tästä syystä turvetta sisältävien näytteiden vaikutusta *V. fischeri* -bakteerin valontuottoon voidaan tutkia kun turvetta on näytteessä enintään 10 g/L tp.

Turvetta sisältävien standardimaanäytteiden valobakteeritestin tulokset on esitetty kuvassa 16. Standardimaa sisälsi turvetta 10 % kuiva-aineesta. Turpeen aiheuttama valontuoton väheneminen voidaan havaita myös standardimaanäytteissä (kuva 16) Tästä johtuen standardimaahan seostettujen mädätysjäännös-, kuivajae- ja rejektivesi -näytteiden akuutti myrkyllisyys on tutkittu standardimaa-pitoisuudella 10 g(tp)/L.

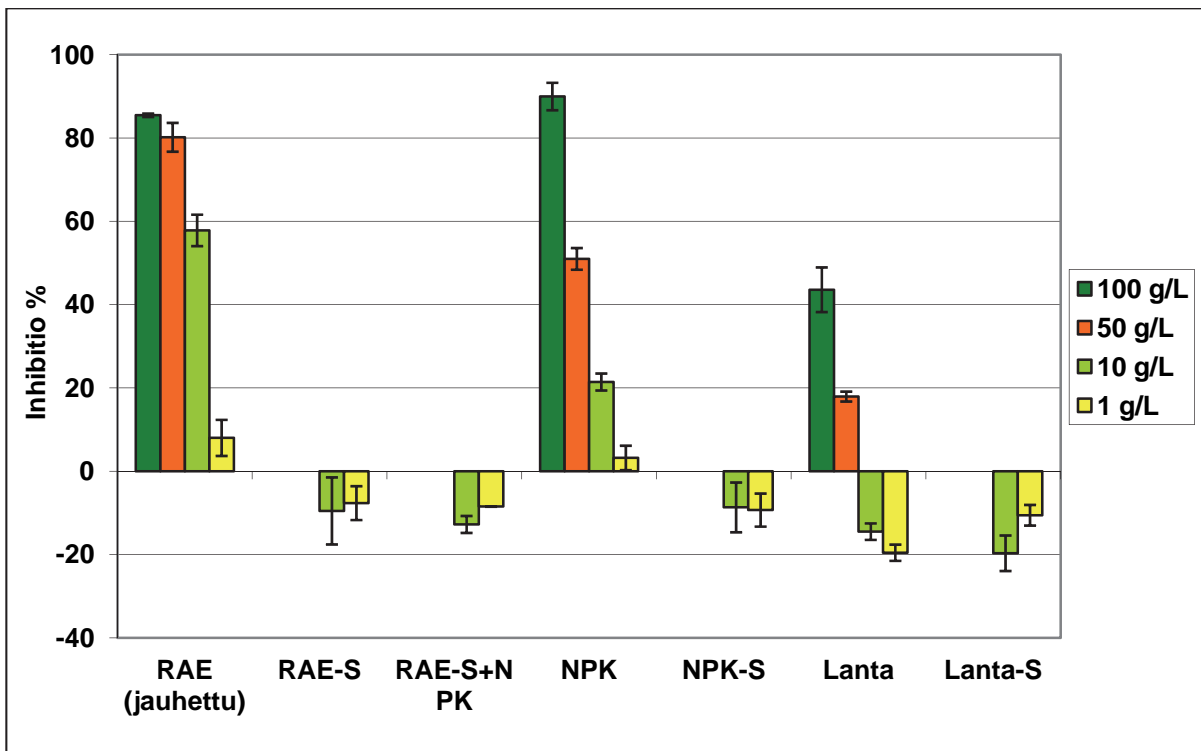


Kuva 15. Turvenäytteiden akuutti myrkyllisyys valontuoton inhibitiona (%) valobakteeritestissä.



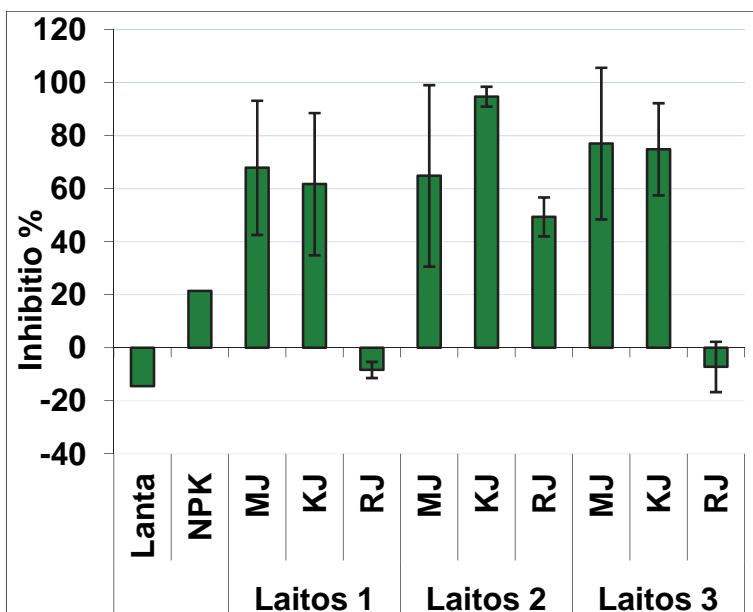
Kuva 16. Standardimaanäytteiden (STD) akuutti myrkyllisyys valontuoton inhibitiona (%) valobakteeritestissä.

Tutkimuksessa käytettiin referenssinäytteinä sian lietalantaa ja epäorgaanista lannoitetta (NPK). Referenssinäytteiden vaikutukset valobakteerin valontuottoon tutkittiin sekä näytteistä suoraan sekä seostettuna standardimaahan (kuva 17). Lisäksi kuvassa 17 on tulokset kuivatusta mädätysjäännöksestä rakeistetusta lannoitteesta (RAE, laitos 3). Kun rakeistetun lannoitteen ja NPK lannoitteen myrkyllisyys testattiin sellaisenaan, tulokset olivat hyvin samankaltaiset. Kaikki näytteet/aineet olivat korkeissa pitoisuuksissa myrkyllisiä. Merkityksellistä on, missä pitoisuudessa aineet esiintyvät ympäristössä. Kun rakeistettu lannoite (RAE) ja NPK lannoite oli seostettu standardimaahan, myrkyllisyyttä ei ollut havaittavissa. Sian lietalanta ei myöskään standardimaahan seostettuna aiheuttanut inhibitiota valontuottoon.

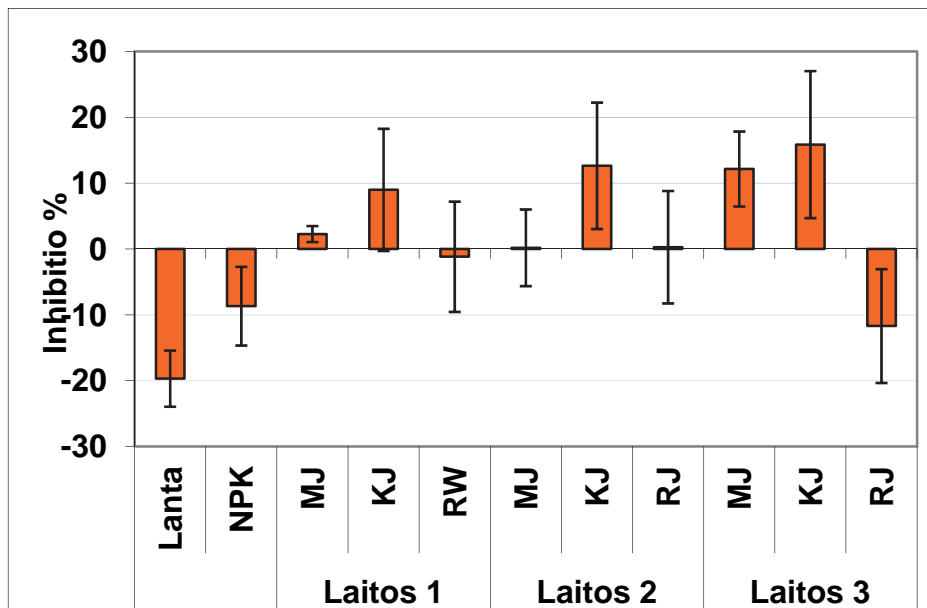


Kuva 17. Referenssinäytteiden akuutti myrkyllisyys valontuoton inhibitiona (%) valobakteeritestissä. S= näytteet seostettu standardimaahan.

Sellaisenaan testattujen mädätysjäännösten (MJ) ja kuivajakeiden (KJ) (10 g/L) keskimääräinen valontuoton inhibiatio vaihteli välillä 60 - 90 %. Näytteenottojen välillä oli vaihtelua, mutta eri laitosten välillä tulokset olivat samaa luokkaa (kuva 18). Rejktivesistä kahden laitoksen näytteet eivät olleet myrkyllisiä mutta yksi rejktivesistä antoi testissä myrkyllisen vasteen. Standardimaahan seostetut rejktivedet eivät kuitenkaan aiheuttaneet valontuoton estymistä valobakteeritestissä (kuva 19). Seostetuissa mädätysjäännöksissä ja kuivajakeissa oli havaittavissa vähäistä valontuoton inhibitiota. Suurin riski myrkylliseen vasteeseen näyttäisi olevan biokaasulaitosten kiinteissä jakeissa.

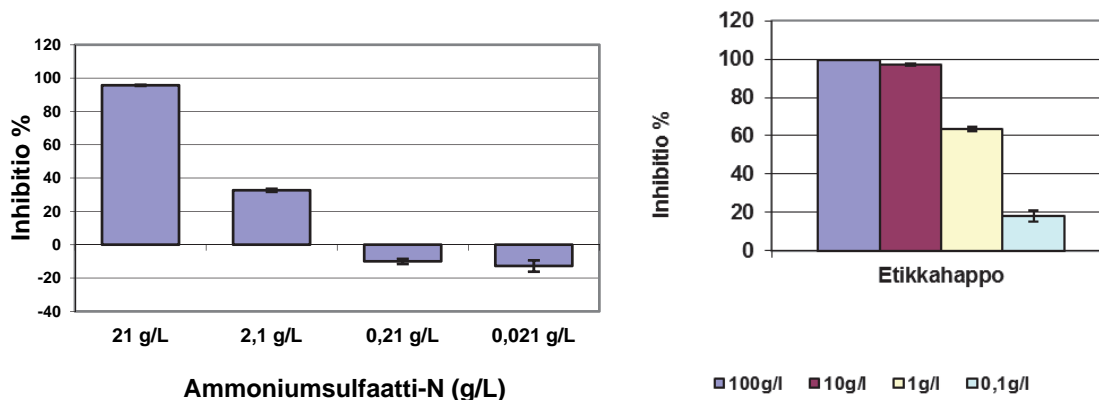


Kuva 18. Akuutti myrkyllisyys valobakteeritestillä pitoisuudella 10 g/l. Näytteet on testattu sellaisenaan. Tulos on kolmen näytteenoton keskiarvo. SL= sian lietalanta; MJ=mädätysjäännös; KJ=kuivajae; RV=rejktivesi.



Kuva 19. Akuutti myrkyllisyys valobakteeritestillä pitoisuudella 10 g/L standardimaahan seostetuilla näytteillä.

Arvioitaessa mädätysprosessin eri vaiheista otettujen näytteiden myrkyllisyyttä valobakteeri-testillä saatavat näytteiden etikkahappo- ja ammoniumpitoisuudet vaikuttaa havaittuun vasteeseen. Kuvassa 20 on esitetty ammoniumsulfaatin ja etikkahapon akuutti myrkyllisyys valontuoton inhibitiona (%). Esimerkiksi laitoksen 1 rejektivedessä (RV) (inhibitio 50 %) ammoniumtyypen pitoisuus oli 6 g/kg eli valobakteeritestissä vastaavasti ammoniumtyypen pitoisuudet testiliuoksessa olisivat 0,6, 0,3, 0,06 ja 0,006 g/L. Ammoniumtyppi ei siten voi olla pääasiallinen myrkyllisyyden aiheuttaja. Etikkahapon vaikutus saatuun vasteeseen sen sijaan voi olla suurempi. Laitoksen 1 rejektivedessä (RV) VFA-pitoisuus oli (COD g/L) 2,2 g/L min eli valobakteeritestissä pitoisuus testiliuoksessa on noin 0,02 g/L. Tässä pitoisuudessa etikkahapon aiheuttama valontuoton inhibitio on alle 20 %. Kun etikkahapon pitoisuus näytteessä on yli 0,1 g/L se vaikuttaa merkittävästi valobakteerin valontuottoon.



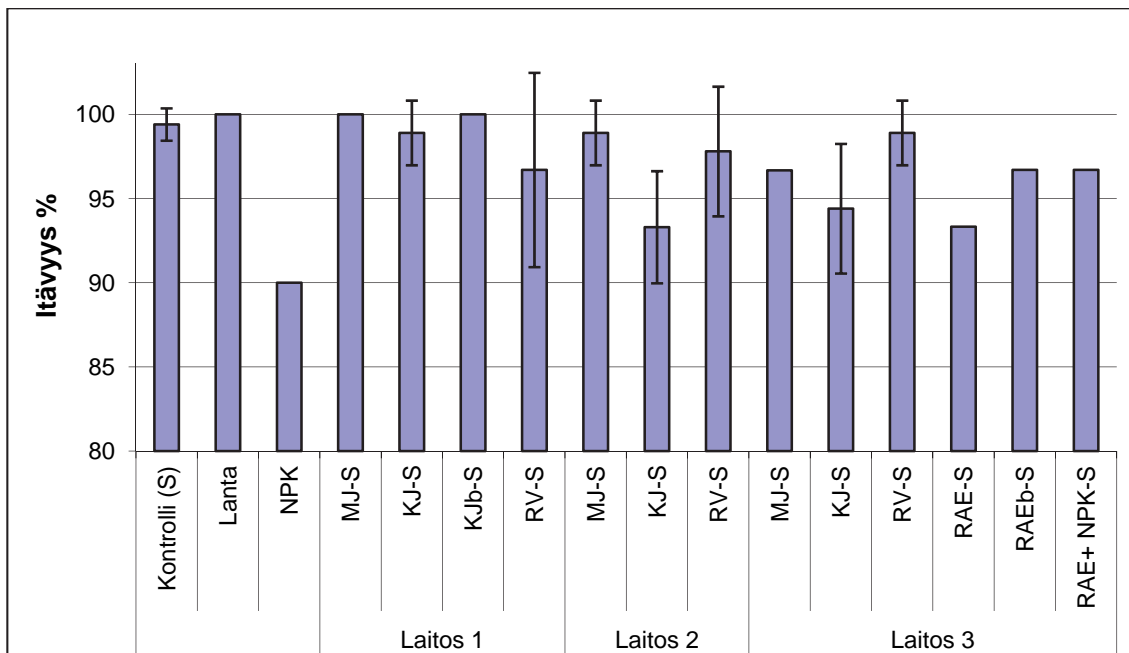
Kuva 20. Ammoniumsulfaatin ja etikkahapon akuutti myrkyllisyys valobakteeritestissä.

### 5.4.2.3 Krassin siementen itävyydesti

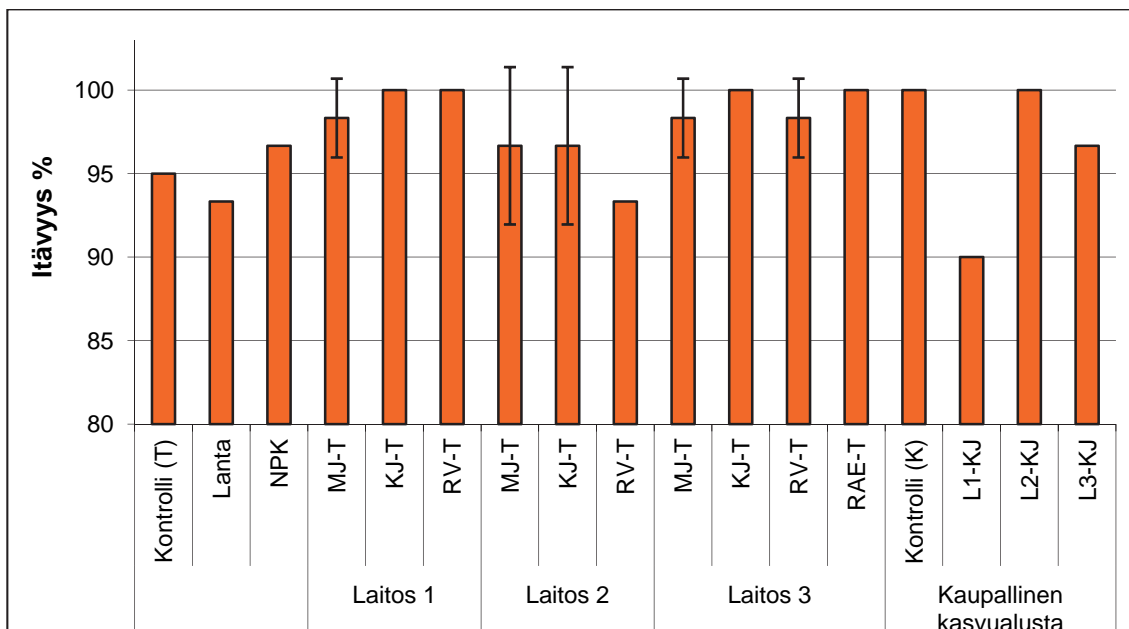
Krassin siementen itävyydesti (72 h) osoitti, että siementen itävyys oli hyvä (vähintään 90 %) kaikissa näytteissä (kuvat 21 ja 22). Seostusmateriaalin valinta vaikutti itävyydestin tulokseen (kuva 23) mutta



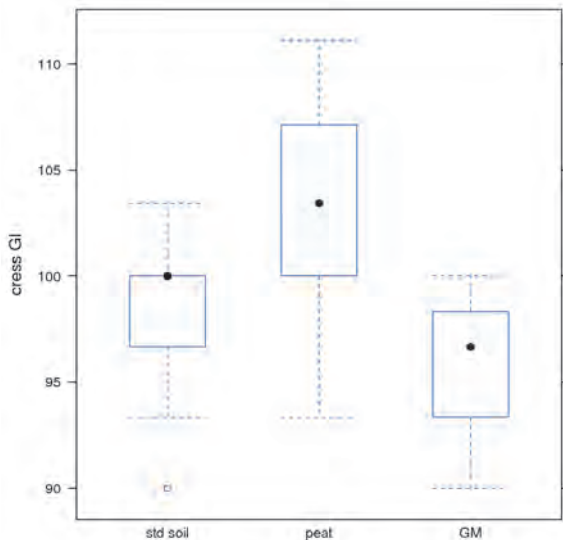
vaihtelua esiintyi myös näytteiden sekä näytteenotokertojen välillä. Referenssinäytteissä oli turpeeseen seostetun lannan itävyystulos ja juuren kasvutulos heikompi kuin standardimaahan seostetun lannan, kun taas turpeeseen seostetun epäorgaanisen lannoitteen (NPK) itävyystulos oli parempi kuin standardimaahan seostetun. Krassin juurten pituus oli keskimäärin hieman parempi turpeeseen seostetuissa näytteissä kuin standardimaahan seostetuissa.



Kuva 21. Krassin siementen itävyys kalkittuun ja lannoitettuun standardimaahan (S) seostetuissa näytteissä. Tulokset on esitetty keskiarvona kolmen näytteenotokerran näytteistä. Kontrollina standardimaa (S). NPK, epäorgaaninen lannoite; KJb-S, kuivajae, 150 kg NH<sub>4</sub>-N/ha; RAE-S, kuivarae, 90 kg NH<sub>4</sub>-N/ha; RAEb, MTT:n peltokokeen pitoisuus.



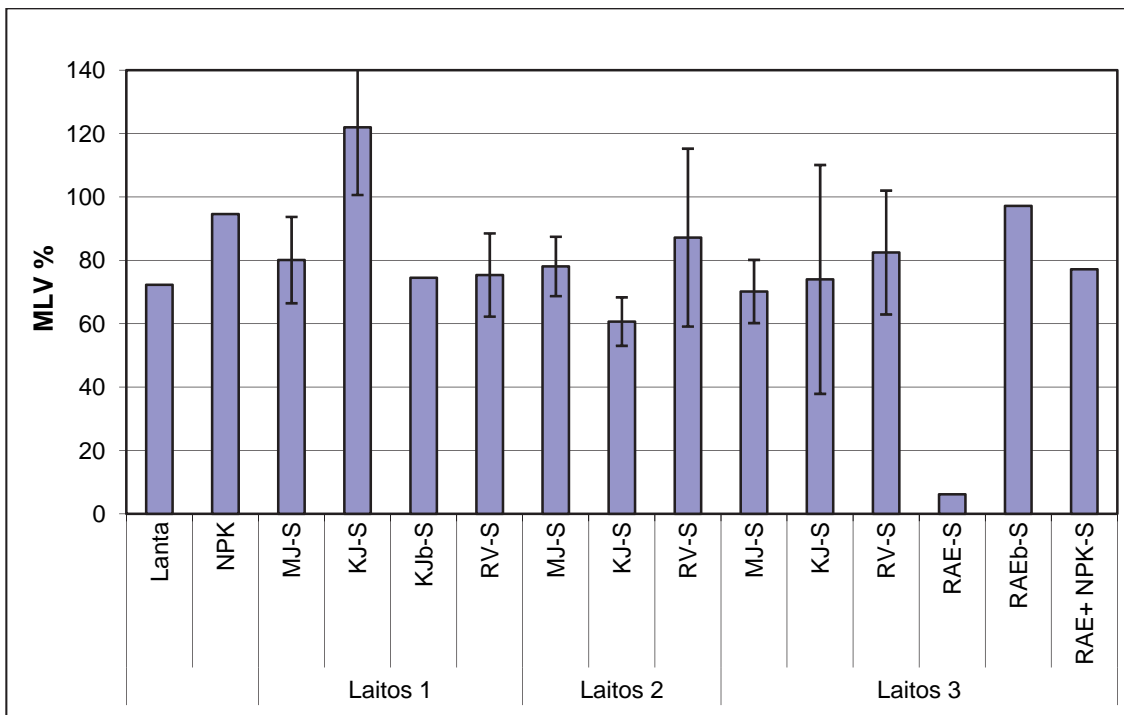
Kuva 22. Krassin siementen itävyys kalkittuun ja lannoitettuun turpeeseen (T) sekä kaupalliseen kasvualustaan seostetuissa näytteissä. Kontrollina turve (T) tai kaupallinen lannoitettu turvemulta (K). Turpeeseosten tulokset on esitetty keskiarvona ensimmäisen ja toisen näytteenotokerran näytteistä. Kaupalliseen kasvualustaan seostetut kuivajakeiden tulokset ovat kolmannelta näytteenotokerralta. L1, Laitos 1; L2, Laitos 2; L3, Laitos 3.



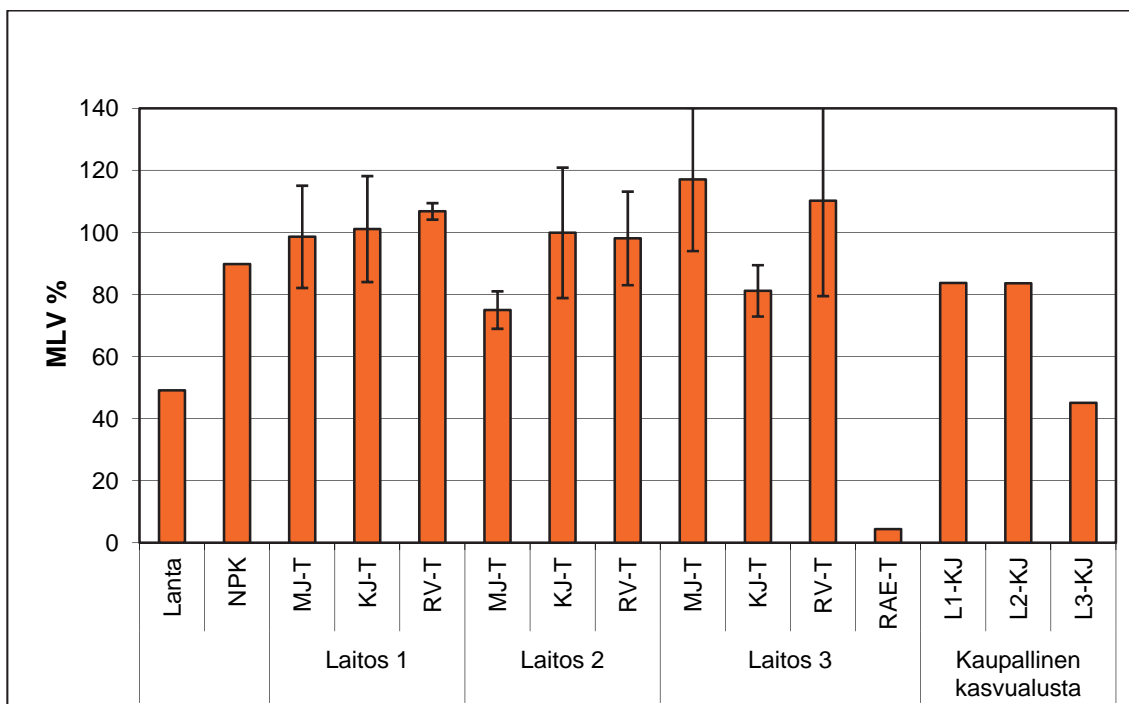
Kuva 23. Seostusmateriaalin vaikutus krassin siementen itävyyteen boxplot-analyysin perusteella. std soil= standardimaa, peat=turve, GM=kaupallinen kasvualusta. Kuva: Marko Laine.

Näytteille laskettiin lisäksi standardin mukainen juurenpituusindeksi (Munoo-Liisa vitality index, MLV %). Indeksii ottaa huomioon krassin itävyyden ja juurenpituuden suhteessa kontrolliin ja näin ollen kuvaa näytteen mahdollista fytotoksisuutta eli haitallisuutta kasveille. Biokaasulaitosten lopputuotteet ovat sellaisenaan maanparannusaineina tai orgaanisina lannoitteina käytettäviä lannoitevalmisteita, eikä niille ole lainsäädännöllisiä raja-arvoja kuvaamaan itävyyden tai juurten kasvun estymistä. Vertailukohtana tuloksia tarkasteltaessa käytettiin maanparannuskomposteille annettua juurenpituusindeksiä, joka kypsällä tuotteella tulee olla vähintään 80 % kontrolliin verrattuna. Lähtökohtaisesti tätä kriteeriä voidaan pitää biokaasulaitosten lopputuotteita tarkasteltaessa melko korkeana vertailuarvona niiden käyttötarkoituksen huomioon ottaen.

Tulosten perusteella turpeeseen seostetut näytteet antoivat hieman pienemmän fytotoksisuusvasteen kuin standardimaahan seostetut näytteet (kuvat 24 ja 25). Tämän testin tulosten perusteella ei todettu fytotoksisuutta rejektivettä sisältävissä seoksissa, lukuun ottamatta ensimmäisen näytteenottokerran laitoksen 1 näytettä, jossa tulos oli hieman alle 80 %, ja vastasi saman laitoksen kuivajänteellä saatua tulosta. Fytotoksisuutta ei havaittu standardimaahan seostetuissa laitoksen 1 mädätysjännöksessä (reaktorista suoraan otettu näyte). Standardimaahan sekoitetuista näytteistä laitoksen 2 kuivajänteellä ja mädätysjännöksellä esiintyi vähäistä fytotoksisuutta sekä ensimmäisen että toisen näytteenottokerran näytteissä. Myös turpeeseen seostettu sian lietelanta antoi fytotoksisen vasteen tällä testillä. Tähän vaikuttaa todennäköisesti mm. lannan raakuus ja raakalannan sisältämät haihtuvat yhdisteet, kuten ammoniakki ja haihtuvat rasvahapot (VFA). Laitoksen 3 raenäytteillä oli voimakas fytotoksinen vaste sekä standardimaahan että turpeeseen seostetuissa näytteissä. Tämä johtui siitä, että seoksessa käytetyn näytteen määrä perustui yksinomaan ammoniumtyypin määrään. Alhaisen ammoniumtyypipitoisuuden takia oli kuivaraakeen määrä seoksessa suuri. Kuivaraaketta sisältävissä seoksissa oli myös johtokyky ja CO<sub>2</sub>-tuotto korkeammat kuin muissa seostetuissa näytteissä. Tutkimusten mukaan molemmat tekijät heikentävät kasvien kasvua (Aslam ja VanderGheynst 2008). Rakeella tehdyt kokeet uusittiin käyttäen MTT:n peltokokeissa käytettyjä raemääriä, jolloin fytotoksista vastetta ei havaittu (kuva 24, RAEB-S).



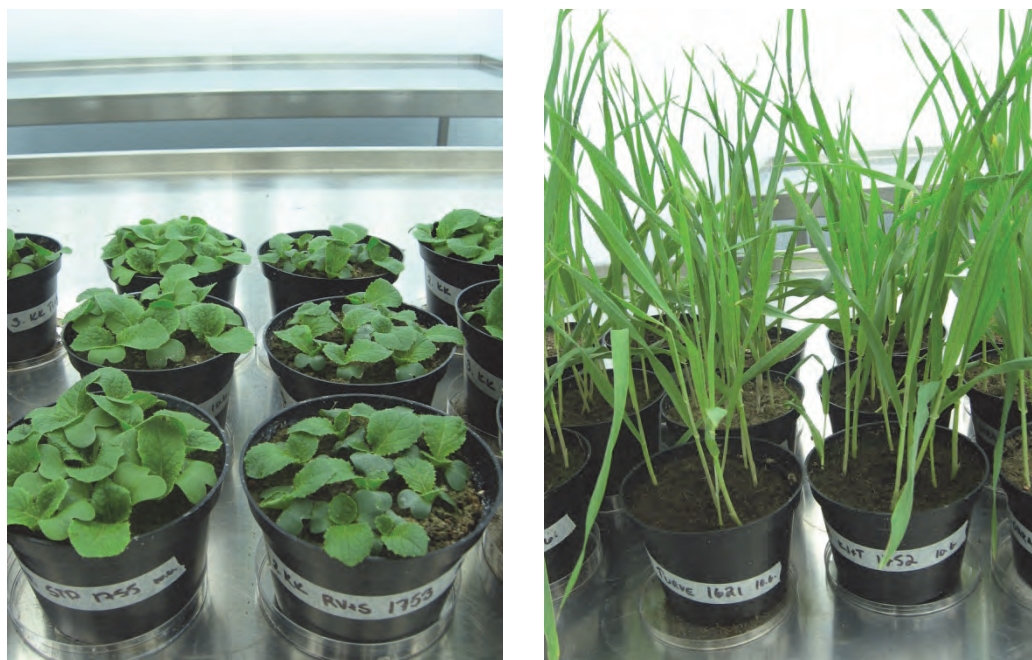
Kuva 24. Juurenpituusindeksi (MLV %) standardimaahan (S) seostetuissa näytteissä kontrolliin verrattuna. Tulokset on esitetty keskiarvona kolmen näytteenottokerran seostetuista näytteistä. Lyhenteet kuten kuvassa 21.



Kuva 25. Juurenpituusindeksi (MLV %) turpeeseen (T) tai kaupalliseen kasvualustaan seostetuissa näytteissä kontrolliin verrattuna. Turveseosten tulokset on esitetty keskiarvona ensimmäisen ja toisen näytteenottokerran näytteistä. Kaupalliseen kasvualustaan seostetut kuivajakeet ovat kolmannelta näytteenotokerralta. L1, Laitos 1; L2, Laitos 2; L3, Laitos 3.

#### 5.4.2.4 Kasvatuskoe

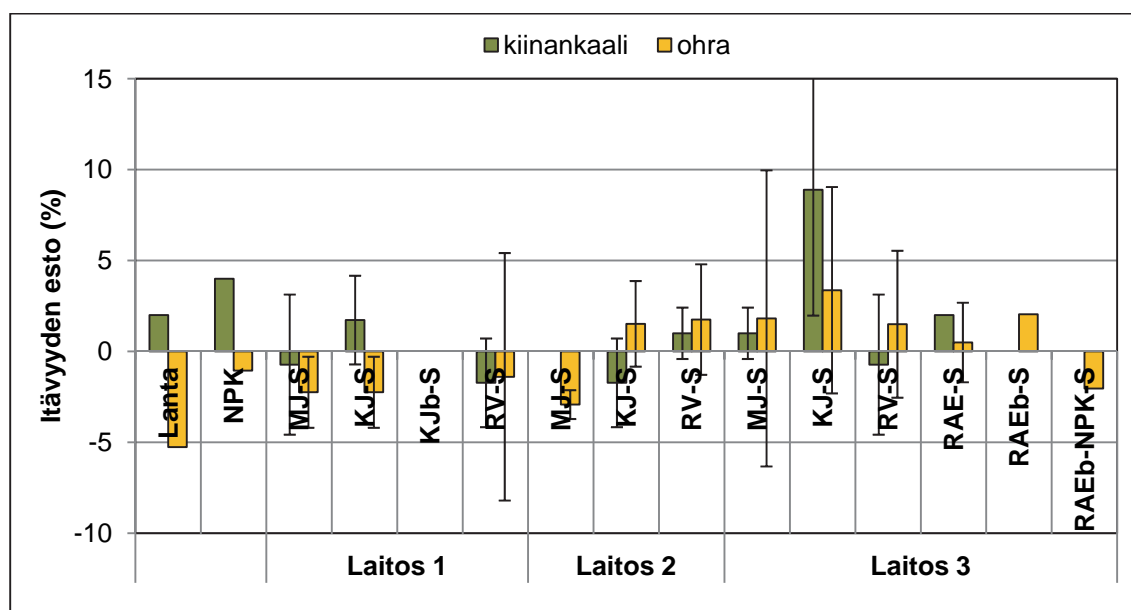
Kasvatuskokeessa tutkittiin testikasvien itävyyttä, tuorepainoa, lehtien väriä ja kasvien yleis-kuntoa. Testikasveina käytettiin ohra (*Hordeum vulgare*) ja kiinankaalia (*Brassica pekinensis*) (kuva 26).



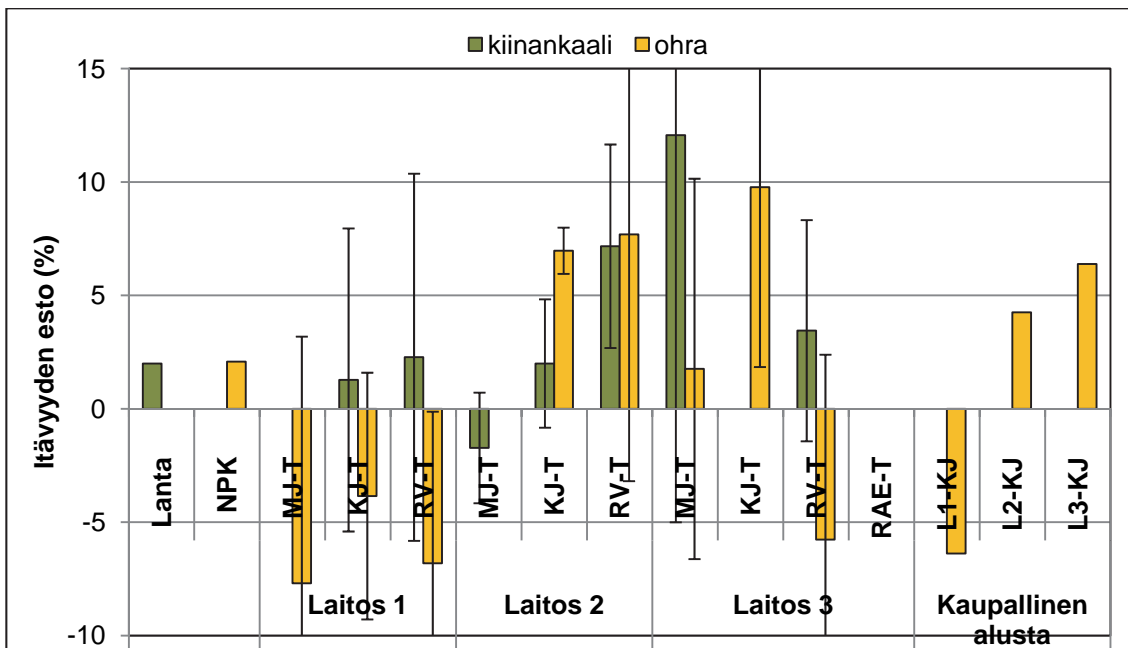
Kuva 26. Testikasveina oli kiinankaali (*Brassica pekinensis*) ja ohra (*Hordeum vulgare*).

#### Itävyys

Molemmilla testikasveilla havaittiin lievää itävyyden estoa osassa näytteistä, kun verrattiin näyteseoksissa itäneitä kasveja kontrollikasvualustassa itäviin kasveihin (kuva 27 ja 28).. Esto oli suurempaa turpeeseen seostetuilla näytteillä. Taimien itäminen oli heikointa laitoksen 3 kiinteistä näytteistä (KJ ja MJ) tehdyissä seoksissa molemmilla testikasveilla.



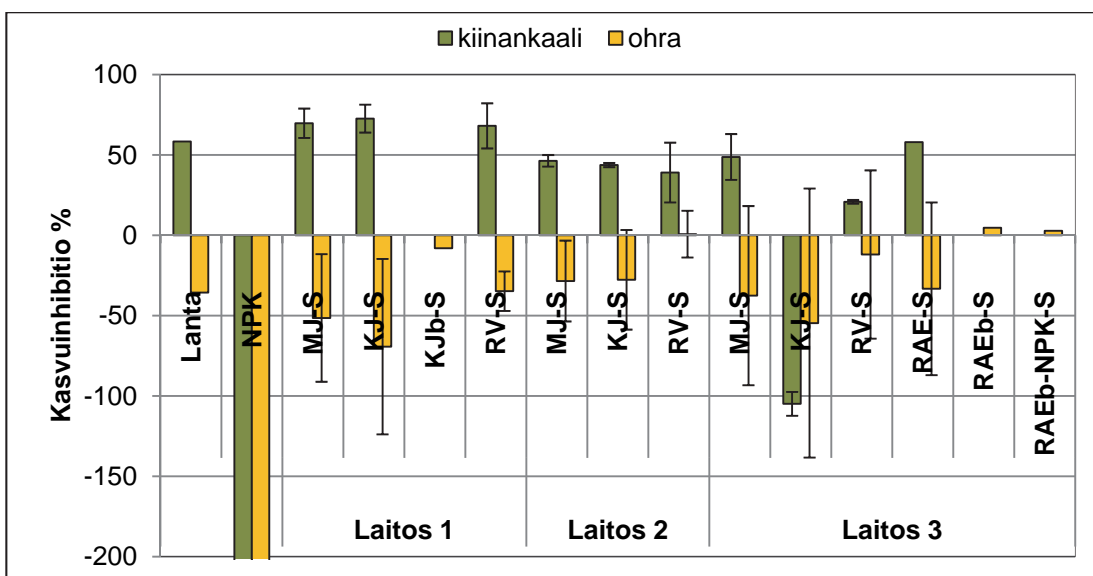
Kuva 27. Itävyyden esto standardimaahan (S) seostetuissa näytteissä kontrolliin verrattuna. Tulokset on esitetty keskiarvona kahden (kiinankaali) tai kolmen (ohra) näytteenottokerran seostetuista näytteistä. KJb- ja RAEb -seokset on testattu vain ohralle kolmannen näytteenottokerran yhteydessä. Lyhenteet kuten kuvassa 21.



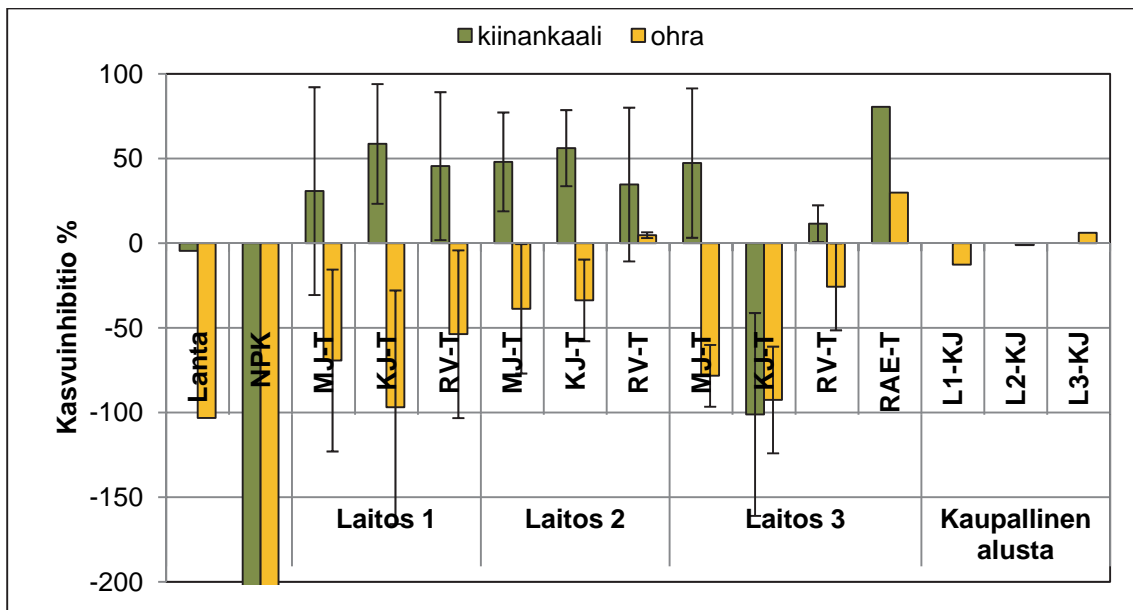
Kuva 28. Itävyyden esto turpeeseen (T) ja kaupalliseen kasvualustaan seostetuissa näytteissä kontrolliin verrattuna. Turpeeseen seostettujen näytteiden tulokset on esitetty keskiarvona ensimmäisen ja toisen näytteenottokerran tuloksista. Kaupalliseen kasvualustaan seostetut kuivajaetulokset ovat kolmannelta näytteenottokerralta. L1,Laitos 1; L2, Laitos 2; L3, Laitos 3.

### Taimien tuorepaino

Näyteseoksissa kasvaneiden versojen paino punnittiin kasvatuskokeen lopussa (noin 18 vrk) ja tuloksia verrattiin kontrolliin (kuvat 29 ja 30). Kaikilla biokaasulaitosten näytteillä esiintyi voimasta kasvunestoa eli inhibitiota kiinankaalilla lukuun ottamatta laitoksen 3 kuivajaetta. Myös referenssinä käytetty lanta standardimaahan seostettuna esti kiinankaalin kasvua vastaavasti kuin näytteseokset. Ohralla kasvunestoa ei esiintynyt lukuun ottamatta turpeeseen seostettua raetta.

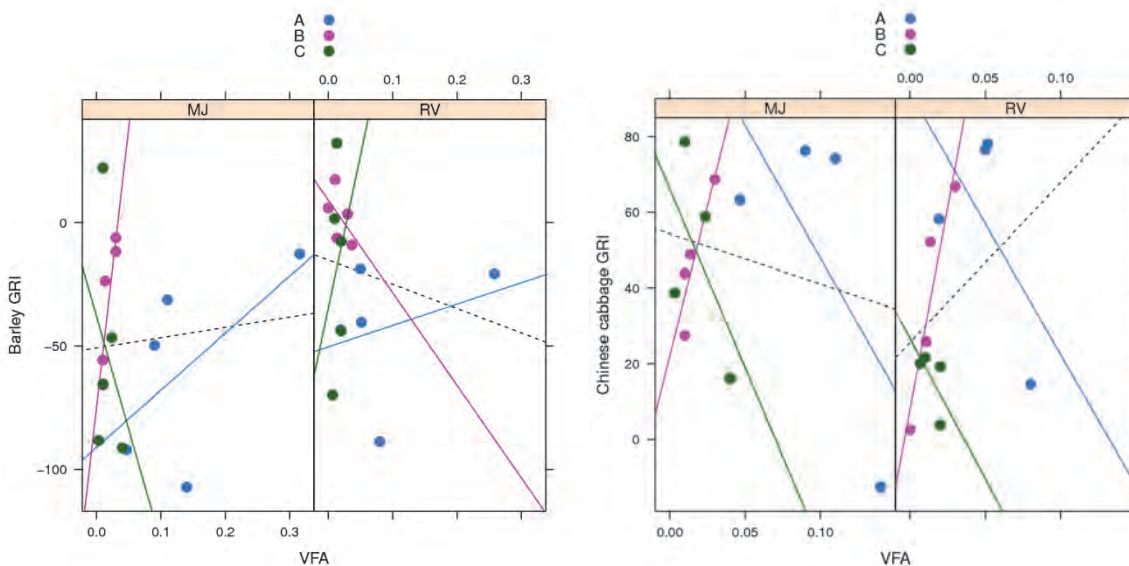


Kuva 29. Kasvun estyminen eli kasvuihbitio standardimaahan (S) seostetuissa näytteissä kontrolliin verrattuna. Tulokset on esitetty kahden (kiinankaali) tai kolmen (ohra) näytteenottokerran tulosten keskiarvona. KJb- ja RAEb -seokset on testattu vain ohralla kolmannen näytteenottokerran yhteydessä. Negatiivinen tulos kuvaajassa tarkoittaa, että kasvu on ollut kontrolliin verrattuna parempi. Lyhenteet kuten kuvassa 21.



Kuva 30. Kasvun estyminen eli kasvuinhibitio turpeeseen (T) ja kaupalliseen kasvualustaan seostetuissa näytteissä kontrolliin verrattuna. Turveseostettujen näytteiden tulokset on esitetty ensimmäisen ja toisen näytteenottokerran tulosten keskiarvona. Kaupalliseen kasvualustaan seostetut kuivajakeet ovat kolmanelta näytteenottokerralta. Negatiivinen tulos kuvaajassa tarkoittaa, että kasvu on ollut kontrolliin verrattuna parempi. L1, Laitos 1; L2, Laitos 2; L3, Laitos 3.

Tilastanalyysissä etsittiin näytteiden eri ominaisuuksien (mm. ravinnepitoisuus, haihtuvien rasvahappojen pitoisuus) mahdollista korrelaatiota testikasvien kasvuun. Selkeätä korrelaatiota ei löytynyt, joten todennäköisesti testikasvien kasvunesto johtui jostain muusta tekijästä (kuva 31).

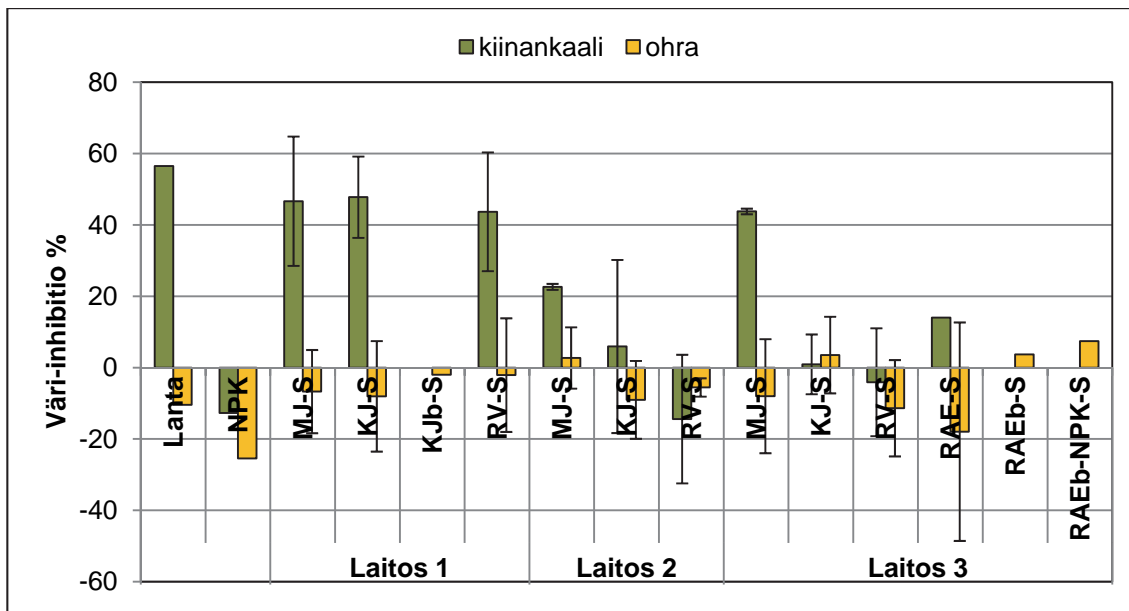


Kuva 31. Haihtuvien rasvahappojen (VFA) vaikutus kiinankaalin ja ohran kasvuun eri näytteissä. A=Laitos 1, B=Laitos 2, C=Laitos 3. Kuva: Marko Laine.

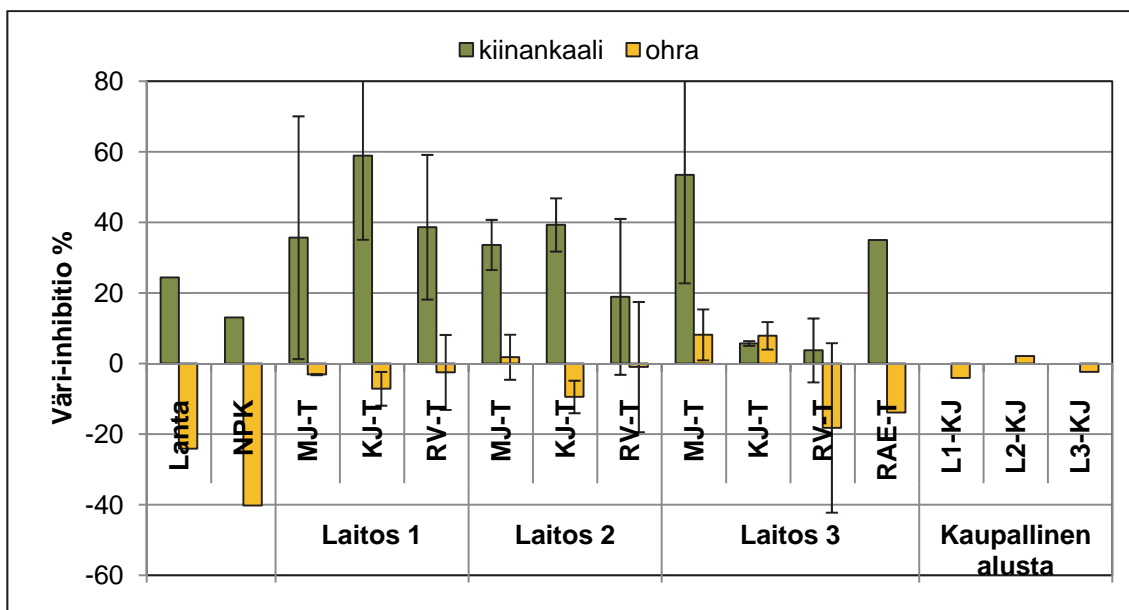
### Taimien väri

Testikasvien lehtien väri mitattiin kokeen lopussa klorofyllimittarilla (Spad-502, Minolta). Kontrolliin verrattuna värivirheitä oli enemmän kiinankaalilla kuin ohralla. Kiinankaalilla saavutettiin korkein klorofyllipitoisuus laitosten 2 ja 3 kuivajakeella ja rejektivedellä erityisesti standardimaan seostetuissa näytteissä. Muiden seosten välillä ei ollut suuria eroja lehtien klorofyllipitoisuudessa. Rreferenssinä käytetyn

lietelannan vaikutus lehtien klorofyllipitoisuuteen oli samaa suuruusluokkaa näytteseoksien kanssa molemmilla testikasveilla ja molemmilla seostusmateriaaleilla (kuva 32 ja 33).



Kuva 32. Väri-inhibitio (klorofyllipitoisuuden lasku) standardimaahan (S) seostetuissa näytteissä kontrolliin verrattuna. Tulokset on esitetty kahden (kiinankaali) tai kolmen (ohra) näytteenottokerran tulosten keskiarvona. KJb- ja RAEb –seokset on testattu vain ohralle kolmannen näytteenottokerran yhteydessä. Negatiivinen tulos kuvaajassa ilmaisee kontrollia parempaa väriarvoa. Lyhenteet kuten kuvassa 21.



Kuva 33. Väri-inhibitio (klorofyllipitoisuuden lasku) turpeeseen (T) ja kaupalliseen kasvualustaan seostetuissa näytteissä kontrolliin verrattuna. Turpeeseen seostettujen näytteiden tulokset on esitetty ensimmäisen ja toisen näytteenottokerran tulosten keskiarvona. Kaupalliseen kasvualustaan seostetut kuivajakeet ovat kolmannelta näytteenottokerralta. Negatiivinen tulos kuvaajassa ilmaisee kontrollia parempaa väriarvoa. L1, Laitos 1; L2, Laitos 2; L3, Laitos 3.

## 5.5 Yhteenveto

Biokaasulaitoksessa tapahtuva raaka-aineiden käsittely on hallittua käsittelyä, jolloin lopputuloksena saadaan stabiilisuudeltaan ja mikrobiologiselta laadultaan turvallinen tuote. Raaka-aineiden käsittelyssä on kuitenkin useita riskitekijöitä, jotka on otettava huomioon. Jätteraaka-aineiden huolellinen käsittely ja lannoitevalmistekäyttöön soveltuvien raaka-aineiden valinta turvallisen lopputuotteen valmistamiseksi on ensiarvoisen tärkeää. Jätteiden hyödyntämisessä tulee päämääränä olla niiden soveltuvuus haluttuun käyttötarkoitukseen. Myös lainsäädännölliset vaatimukset on huomioitava valmistusprosessissa ja lopputuotteen laadussa.

Selvityksessä ei havaittu merkittäviä ongelmia tarkastelun kohteena olevissa biokaasulaitoksissa. Alla on kuitenkin listattu asioita, joihin on syytä kiinnittää laitoksilla huomiota kehitettäessä prosessin lopputuotteita turvallisempaan suuntaan.

- raaka-aineiden valinta prosessin ominaisuuksien mukaan
  - o käsitellään vain sellaisia raaka-aineita, joiden riskit voidaan prosessissa vähentää hyväksyttävälle tasolle
  - o tunnetaan kaikkien käsiteltävien raaka-aineiden ominaisuudet
- epäpuhtauksien poistaminen etenkin käsiteltäessä biojätettä
  - o epäpuhtaudet voivat vaikuttaa mm. lopputuotteen haitta-ainepitoisuuteen
- varmistetaan että lopputuote on hygienisoitu (mesofiilinen mädätys ei ole riittävä) kaikkien tuotteiden osalta - myös rejektivesi, ennen kuin sitä käytetään lannoitevalmisteenä. Tämä on erityisesti huomioitava laitoksilla joissa varsinainen hygienisointi tapahtuu käsittelyn loppuvaiheessa
- tehokas sekoittaminen prosessin kaikissa vaiheissa eli reaktorin toiminta, vaikuttaa hygienisointiin
  - o estää ohivirtausten aiheuttamia mikrobiologisia riskejä
  - o estää ”kuolleiden kulmien” muodostumista prosessin eri vaiheissa
- tunnistetaan valmistettavan lopputuotteen ominaisuudet ja käyttäytyminen maaperässä
  - o varmistetaan siitä, että lopputuote ei käytössä aiheuta esim. mikrobiologisia riskejä viljeltille kasveille
  - o selvitetään, millaisia vaikutuksia ympäristöolosuhteilla voi olla valmistettavan lopputuotteen hygieenisyyteen tai muihin laatuominaisuuksiin (esim. pellettien kostuminen)

Koska biokaasulaitosten lopputuotteita käytetään tyypillisesti kasvinravinteena, ei niiden stabiilisuutta ja fytotoksisuutta kannata testata sellaisenaan, vaan ne on seostettava sopivaan seosaineeseen. Tässä työssä käytettiin mm. peltomaata simuloivaa maaseosta, joka sisälsi turvetta ja hiekkaa. Referenssinäytteenä käytettiin sian lietelantaa ja epäorgaanista NPK lannoitetta, joita käytetään lannoitteena samalla tavalla kuin biokaasulaitosten lopputuotteita.

- Pelto-olosuhteissa tutkitut biokaasulaitosten lopputuotteet eivät lisänneet merkittävästi maan mikrobiologista aktiivisuutta. Käytettäessä lopputuotteita kasvinravinteina maataloudessa, ei stabiilisuuden mittaaminen ole välttämätöntä.
- Krassin siementen itävyystestissä itävyydet olivat kaikilla biokaasulaitosten lopputuotteilla yli 90 %, mitä voidaan pitää hyvänä tuloksena.
- Itävyyttä herkempi parametri fytotoksisuudelle on krassin siementen itävyyden ja juurten kasvun perusteella laskettu juurenpituusindeksi (MLV). Lantaan verrattuna alhaisempi juurenpituusindeksi saatiin ainoastaan yhdellä kuivajakeella, kun biokaasulaitoksen lopputuotteiden pitoisuudet vastasivat pellolla käytettäviä määriä ja seosaineena käytettiin peltomaata simuloivaa maaseosta.
- Kasvatuskokeissa kiinankaali osoittautui ohraa herkemäksi testikasviksi ja voi siten tuoda ohraa paremmin esiin laatueroja biokaasulaitosten lopputuotteissa.



- Kasvikoetulosten tulkinnassa tulee huomioida, että kasvit reagoivat herkästi mm. ravinnepoikkeamiin ja muutoksiin kasvuolosuhteissa, kuten kuivuuteen. Myös haihtuvat yhdisteet, kuten ammoniakki ja haihtuvat rasvahapot (VFA) voivat aiheuttaa kasvuhäiriöitä. Nämä seikat huomioiden voidaan kasvitestejä käyttää hyvin biokaasulaitosten lopputuotteiden laadun arvioinnissa.
- Ammoniumtyppi ja etikkahappo voivat vaikuttaa myrkyllisyydestien tulokseen. Flash-valobakteeritestissä näytteiden sisältämä etikkahappo aiheutti selvän myrkyllisen vasteen.
- Merkittävää myrkyllisyyttä biokaasulaitosten tuotteissa ei pellolla käytettävissä pitoisuuksissa havaittu. Suurin riski myrkylliseen vasteeseen biotesteissä näyttäisi olevan biokaasulaitosten kiinteissä jakeissa.

Lisätietoa tarvitaan erityisesti siitä, miten haitta-aineet kulkeutuvat ja säilyvät biokaasulaitoksen prosessissa, kuinka suuri osuus siirtyy rejektiveden ja mädätysjäätöseen sekä mitkä ovat niiden aiheuttamat mahdolliset riskit ihmisille, eläimille ja ympäristölle. Tulosten perusteella tulisi miettiä mahdollisia lain muutostarpeita mm. puhdistamolietettä sisältävän rejektiveden käytölle.

Kuva: Teija Paavola



---

## 6 Orgaaniset haitta-aineet biokaasulaitosten lopputuotteissa

---

### 6.1 Tausta ja tavoite

Orgaanisia haitta-aineita esiintyy yleisesti ympäristössä pieniä pitoisuuksia kemikaalien laajamittaisen käytön seurauksena. Niitä esiintyy myös biokaasulaitosten raaka-aineissa ja lopputuotteissa. Jos orgaanisia haitta-aineita sisältäviä biokaasulaitosten lopputuotteita käytetään lannoitteena tai maanparannusaineena, on mahdollista, että lopputuotteiden sisältämät haitta-aineet päätyvät ympäristöön ja kertyvät maaperään tai elintarvikkeisiin. Tämän hetkisen kirjallisuustiedon valossa ei ole voitu osoittaa, että biolietteiden sisältämät haitalliset aineet aiheuttaisivat välitöntä vaaraa elintarviketurvallisuudelle. Kaikkien biolietteiden mahdollisesti sisältämien aineiden ja niiden metaboliittien ominaisuuksia ja vaaroja ei kuitenkaan ole riittävästi selvitetty, joten kaikkia mahdollisia vaaratekijöitä ei voi sulkea pois. Orgaanisten haitta-aineiden esiintymisestä suomalaisten biokaasulaitosten lopputuotteissa on toistaiseksi hyvin vähän tietoa.

Tässä työssä mitattiin useiden erityyppisten haitta-aineiden pitoisuuksia kolmen biokaasulaitoksen lopputuotteista. Tavoitteena oli selvittää minkä tyyppisiä haitta-aineita tuotteissa esiintyy, mihin jakeisiin ne päätyvät mädätysjäätännöksen jatkokäsittelyssä ja missä pitoisuuksissa ne esiintyvät tuotteissa. Tulokset esitellään tässä lyhyesti. Asiaa käsitellään laajemmin myöhemmin julkaistavassa raportissa, jossa esitellään MTT:n BIOSAFE-hankkeen tuloksia. Biosafe-hankkeessa selvitettiin orgaanisten haitta-aineiden esiintymistä kahdeksan suomalaisen biokaasulaitosten lopputuotteissa, arvioitiin haitta-aineiden aiheuttamaa maaperäkuormitusta sekä kartoitettiin tuotteiden lannoitevalmistekäytöstä mahdollisesti aiheutuvaa riskiä elintarvikeketjuun.

### 6.2 Materiaalit ja menetelmät

Tässä työssä tutkitut haitta-aineryhmät olivat polyaromaattiset hiilivedyt (PAH), polyklooratut bifenyylit (PCB), polyklooratut dibenzo-p-dioksiinit ja furaanit (PCDD/F), polybromatut difenyylieetterit (PBDE), nonyylifenolit (NP) ja nonyylifenolietoksyylaatit (NPEO), lineaariset alkyylisulfonaatit (LAS), di(2-etyyliheksyyli)ftalaatti (DEHP) ja adsorboituva orgaaninen halogeeni (AOX) sekä taulukossa 14 listatut lääkeaineet. Aineet valittiin asiantuntija-arvioiden perusteella (mm. European Commission, 2001) ottaen huomioon mm. aineiden esiintyminen jätevesissä ja biolietteissä, aineiden pysyvyys ja kertyminen elintarvikkeisiin sekä aineiden haitallisuus ihmisille ja eläimille. Näytteet analysoitiin kaupallisissa laboratorioissa.

Taulukko 14. Tutkituista näytteistä määritetyt lääkeaineet ja hormonit.

Lääkeaine	Käyttökohde
atenololi*	beetasalpaaja, sydän- ja verisuonitaudit
betsafibraatti*	kolesterolilääke
diklofenaakki	tulehduskipulääke
erytromysiini	antibiootti
estradioli*	hormoni: e-pillerit
estrioli*	hormoni: e-pillerit, raskausaikana esiintyvä estrogeeni
etinyliestradioli*	hormoni: e-pillerit, vaihdevuosisoireet
fenatsoni*	kipulääke
ibuprofeeni	kipulääke
iopamidoli*	varjoaine
karbamatsepiini	epilepsia, kaksisuuntainen mielialahäiriö
ketoprofeeni	tulehduskipulääke
klofibrihappo	kolesterolilääke
metoprololi	beetasalpaaja, sydän- ja verisuonitaudit
naprokseeni	tulehduskipulääke
noretisteroni	hormoni: e-pillerit
propyfenatsoni	kipu- ja kuumelääke
simvastatiini*	kolesterolilääke
sotaloli	beetasalpaaja, rytmihäiriöt, verenpaine
sulfametoksatsoli*	antibiootti

\* Pitoisuus kaikissa näytteissä alle määrittämissä (LOQ).

Näytteitä otettiin kolmelta biokaasulaitokselta (L1, L2, L3). Näytteistä on käytetty merkintöjä:

MJ	Mädätysjäännös
RV	Rejektivesi
KJ	Kuivajae
RAE	Kuivarae; mädätysjäännöksestä rakeistettu lannoite

Jos tutkittavan aineen pitoisuus on alle määrittämissä, on kaksi tapaa ottaa se huomioon aineryhmän kokonaispitoisuudessa. Lower bound-pitoisuus tarkoittaa että ko. aineen pitoisuus asetetaan nolaksi ja upper bound pitoisuus että se asetetaan samaksi kuin määrittämissä. Joidenkin tutkittavien aineiden määrittämissä (LOQ, limit of quantification) olivat niin korkeita, että upper bound pitoisuudet yliarvioisivat vakaasti aineiden todellisia pitoisuuksia näytteistä. Tämän vuoksi tulosten tarkastelussa käsitellään aineiden lower bound –pitoisuuksia. Tämä lähestymistapa saattaa aliarvioida aineiden pitoisuuksia lopputuotteissa.

## 6.3 Tulokset

### Haitta-aineiden pitoisuudet

Yhteenveto tässä työssä mitatuista haitta-aineiden pitoisuuksista on esitetty taulukossa 15. Haitta-aineiden pitoisuudet Laitoksen 1 lopputuotteissa olivat pääsääntöisesti pienempiä kuin kahdella muulla laitoksella,

mikä johtui todennäköisesti niiden erilaisesta raaka-ainepohjasta. Useimpien tässä työssä tutkittujen aine-ryhmien pitoisuudet olivat alhaisempia kuin ehdotetussa biolietteiden kemiallista laatua koskevassa sää-dösluonnoksessa on mainittu (EU 2000; taulukko 15). Ainoastaan LAS-yhdisteiden ja DEHP:n pitoisuu-det joissakin näytteissä ylittivät nämä raja-arvot. Tässä työssä mitatut pitoisuudet olivat yhtä suuria tai alhaisempia kuin muualta Euroopasta (esim. Espanja, Saksa, Tanska, Norja) mitatut haitta-aineiden pitoi-suudet (Jensen & Jepsen 2005; Benabdallah El-Hadj ym. 2007; Knoth ym. 2007; Eriksen ym. 2009; De la Torre ym. 2011).

Taulukko 15. Yhteenveto eri laitoksista mitatuista (lower bound) pitoisuuksista kuiva-ainetta (TS) kohden sekä kirjallisuudesta poimittuja pitoisuuksia. Laitosten raaka-aineet: L1 sianlanta ja teollisuuden sivutuot-teet, L2 puhdistamoliete, L3 puhdistamoliete, biojäte ja teollisuuden sivutuotteet.

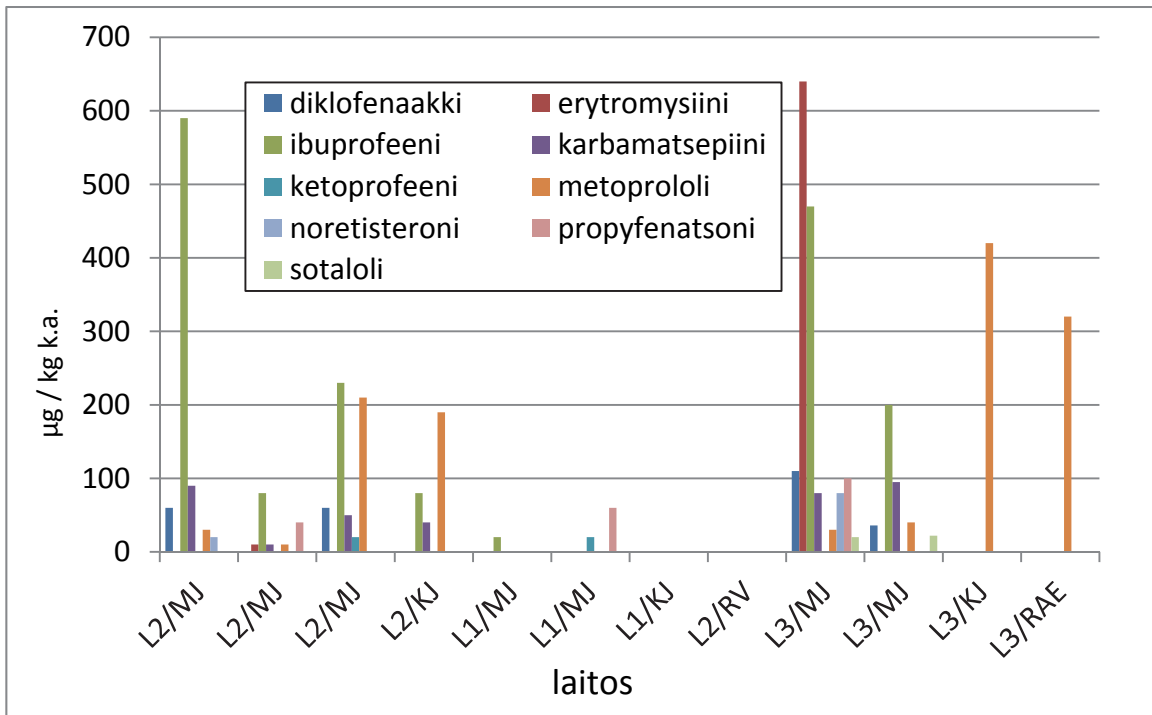
Yhdiste	Raja-arvo-ehdotus	L1	L2	L3	Kirjallisuus-arvoja
Näytteet		MJ, KJ, RV	MJ, KJ	MJ, KJ,RAE	-
PAH (mg kg <sup>-1</sup> TS)	6	0,06 – 0,80	1,21 – 1,80	0,50 – 1,10	0,62 – 4,3 <sup>1</sup>
PCB (mg kg <sup>-1</sup> TS)	0,8	0	0	0	0 – 0,26 <sup>1,2</sup>
LAS (mg kg <sup>-1</sup> TS)	2600	0	428 – 1446	110 – 3130	50 – 16 000 <sup>1,3,4</sup> 5560* <sup>5</sup>
NP+NPEO (mg kg <sup>-1</sup> TS)	50	0 – 5,4	6,90 – 19,60	2,9 – 9,90	NP: 12,3–44 <sup>1</sup> NPEO: 5,7–39 <sup>1</sup>
DEHP (mg kg <sup>-1</sup> TS)	100	1,3 – 7,4	80 – 107	17 – 39	13 – 49 <sup>1</sup>
AOX (mg kg <sup>-1</sup> TS)	500	110 – 220	~120	120 – 150	<406
Summa PCDD/F (ng kg <sup>-1</sup> TS)	-	0 – 42	461 – 1562	351 – 615	-
PCDD/F (ng 100 WHO-TEQ- 2005 kg <sup>-1</sup> TS)	-	0 – 0,01	1,49 – 2,05	0,61 – 0,94	2,06 – 44,4 <sup>6</sup>
PBDE (µg kg <sup>-1</sup> TS)	-	0	276 – 686	28 – 252	57,5 – 2606 <sup>6</sup>

<sup>1</sup> (Eriksen ym. 2009), <sup>2</sup> Benabdallah El-Hadj ym. 2007, <sup>3</sup> Jepsen & Jepsen 2005, <sup>4</sup> Prats ym. 1997, <sup>5</sup> Schowanek ym. 2007, <sup>6</sup> De la Torre ym. 2011 (WHO-TEQ-1998)

\*Euroopassa keskimäärin

Tutkittavia lääkeaineita ja hormoneita oli 20, joista 10 pitoisuudet olivat alle määritysrajan. Kuvassa 33 on esitetty määritysrajan ylittäneiden lääkeaineiden pitoisuudet. Ibuprofeeni ja metoprololi olivat yleisimmin esiintyviä laitosten 2 ja 3 näytteissä. Laitoksella 3 tavattiin lisäksi paljon erytromysiiniä (antibi-ootti). Mitään näitä aineista ei käytetä elintarviketuotantoeläimille. Laitoksella 1, joka käsitteli lietalantaa ja teollisuudet sivutuotteita, ainoastaan ibuprofeenin, ketoprofeenin ja propyfenatsononin pitoisuudet

olivat yli määritysrajan. Muiden, kuin kuvassa 33 esitettyjen tähän työhön sisältyneiden lääkeaineiden pitoisuudet olivat alle määritysrajan (atenololi, betsafibraatti, estradioli, estrioli, etinyyliestradioli, fenatsoni, iopamidoli, klofibrihappo, simvastatiini, sulfametoksatsoli 10–500 µg kg<sup>-1</sup> k.a.).



Kuva 33. Eräiden lääkeaineiden esiintyminen tutkituissa biokaasulaitosten lietteissä ja lopputuotteissa. Muiden, kuin tässä kuvassa esitettyjen tähän työhön sisältyneiden lääkeaineiden (atenololi, betsafibraatti, estradioli, estrioli, etinyyliestradioli, fenatsoni, iopamidoli, klofibrihappo, simvastatiini, sulfametoksatsoli) pitoisuudet olivat alle määritysrajan (10–500 µg kg<sup>-1</sup> k.a.).

#### Haitta-aineiden hehtaarikuormitus tuotteiden maatalouskäytössä

Orgaanisten lannoitevalmisteiden levitysmäärät kasvinravinteena riippuvat niiden ravinnepitoisuuksista (N ja P) ja haitallisten metallien pitoisuuksista. Usein etenkin kuivemmilla lannoitevalmisteilla ensimmäinen levitysmäärää rajoittava tekijä on fosfori- ja/tai kadmiumpitoisuus, jolloin voidaan valita kaksi erilaista levitysstrategiaa. Lannoitevalmiste voidaan joko levittää ns. vuosistrategian mukaisesti, jolloin levitetään esim. vuositasolla sallittu fosforimäärä ja levitys voidaan tehdä joka vuosi tai levitys voidaan tehdä hyödyntäen fosforin tasausjaksoa, jolloin kerralla voidaan levittää useamman vuoden fosforimäärä ja levittää seuraavina tasausjaksovuosina fosforitonta lannoitetta. Tasausjaksoja voidaan käyttää myös kadmiumin rajoittaessa levitysmääriä. Typen ollessa ensimmäinen levitysmäärää rajoittava tekijä, levitysmäärät pysyvät samana vuosittain (taulukko 16).

Taulukko 16. Tutkittujen lopputuotteiden raaka-aineet, tuotekuvaukset, koodit ja levitysmäärät (t ha<sup>-1</sup>) kahdella erilaisella levitysstrategialla.

Raaka-aine	Tuote	Koodi	Levitysmäärä vuosi- strategialla (t ha <sup>-1</sup> )	Levitysmäärä fosforin tasauk- sella (t ha <sup>-1</sup> )
Puhdistamoliete	Mädätysjäännös	L2/MJ	23	36
Puhdistamoliete	Mekaanisesti kuivattu mädätysjäännös	L2/KJ	8,6	17,5
Sianlanta ja teollisuuden sivuvirrat	Mädätysjäännös	L1/MJ	15,5	15,5
Sianlanta ja teollisuuden sivuvirrat	Mekaanisesti kuivattu mädätysjäännös	L1/KJ	19	19
Sianlanta ja teollisuuden sivuvirrat	Mekaanisesti mädätysjäännöksestä erotettu rejektivesi	L1/RV	15,4	15,4
Puhdistamoliete, biojäte, teollisuus	Mädätysjäännös	L3/MJ	26	30
Puhdistamoliete, biojäte, teollisuus	Mekaanisesti kuivattu mädätysjäännös	L3/KJ	9,2	15
Puhdistamoliete, biojäte, teollisuus	Termisesti kuivattu kuivarae	L3/RAE	2,2	6

Korkeimman hehtaarikuormituksen aiheuttavat puhdistamolietettä sisältävillä lannoitevalmisteilla LAS-yhdisteet (283 – 3804 g/ha) ja DEHP (43 – 516 g/ha; Taulukot 17 ja 18). Haitta-aineiden hehtaarikuormituksia nestemäisten ja kuivien lannoitevalmisteiden välillä vertailtaessa voidaan havaita yhdisteryhmien käyttäytyvän hieman eri tavoin, mikä johtuu mm. niiden liukoisuudesta: vesiliukoiset yhdisteet päätyvät suurelta osin rejektiveteen ja rasvaliukoiset kuivajakeeseen. Tulosten perusteella PAH, PCDD/F- ja Metoprololi-hehtaarikuormitukset ovat korkeampia käytettäessä kuivajakeita verrattuna lähtöaineena olevaan mädätysjäännökseen sellaisenaan (taulukko 17 ja 18). Ibuprofeeni-kuormitus taas on korkeampi nestejakeita käytettäessä (taulukko 18). Muilla tutkituilla yhdisteryhmillä ei ole mitään trendiä havaittavissa. Tässä tutkimuksessa pelkästään lantaa ja teollisuuden sivutuotteita sisältävien lannoitevalmisteiden haitta-aineiden hehtaarikuormitus on huomattavasti alhaisempi kaikkien tutkittujen yhdisteryhmien osalta kuin puhdistamolietettä sisältävien lannoitevalmisteiden (taulukot 17 ja 18).

Taulukko 17. Orgaanisten haitta-aineiden (PAH, LAS, NP+NPE, DEHP, AOX) hehtaarikohtaiset kuormitukset (g ha<sup>-1</sup>) eri levitysstrategioilla (vuosittain ja max) ja analyysimenetelmien määritystarkkuusilla (UPP=upper bound, LOW=lower bound). Näytekoodit taulukossa 16.

Laitos	Tuotetyyppi ja koodi	PAH		LAS		NP+NPE		DEHP <sup>1</sup>	AOX <sup>1</sup>
		UPP	LOW	UPP	LOW	UPP	LOW	UPP/LOW	UPP/LOW
L1	MJ vuosittain	2,35	0,65	0,53	0	0,40	0	5,0	215
	KJ vuosittain	9,62	2,72	0	0	16,6	13,8	6,19	-
	RV vuosittain	0,96	0,04	0	0	3,77	3,63	5,0	-
L2	MJ vuosittain	6,53	2,97	1744	1734	36,3	35,6	184	228
	MJ max	10,2	4,65	2729	2714	56,8	55,8	288	356
	KJ vuosittain	10,1	3,78	1870	1858	46,7	45,7	253	-
	KJ max	20,6	20,6	3804	3780	95,1	92,9	516	-
L3	MJ vuosittain	6,75	5,37	2505	2497	15,6	15,0	56,2	220
	MJ max	7,79	6,19	2890	2881	18,1	17,3	64,9	253
	KJ vuosittain	10,5	8,36	295	283	17,2	15,9	43,0	-
	KJ max	17,1	13,6	481	461	28,1	26,0	70,1	-
	RAE vuosittain	4,89	2,17	385	374	14,8	14,3	67,3	-
	RAE max	13,3	5,92	1049	1019	40,3	39,1	184	-

<sup>1</sup> Kaikki tulokset ovat yli määritysrajan, jolloin UPP- ja LOW-kuormitukset ovat samat.

Taulukko 18. Orgaanisten haitta-aineiden (PCB, PCDD/F, PBDE ja valittujen lääkeaineiden (karbamatsepiini, ibuprofeeni, metoprololi) hehtaarikohtaiset kuormitukset (g ha<sup>-1</sup> tai µg WHO-TEQ ha<sup>-1</sup> PCDD/F) eri levitysstrategioilla (vuosittain ja max) ja analyysimenetelmien määrittystarkkuusilla (UPP=upper bound, LOW=lower bound). Näytekoodit taulukossa 16.

Laitos	Tuotetyyppi ja koodi	PCB		PCDD/F <sup>1</sup>	PBDE		Karbamatsepiini <sup>1</sup>	Ibu- profeeni <sup>1</sup>	Metoprololi <sup>1</sup>
		UPP	LOW	LOW	UPP	LOW	LOW	LOW	LOW
L1	MJ vuosittain	0,53	0	0,005	0,19	0	0	0,01	0
	KJ vuosittain	0	0	0,049	1,67	0	0	0	0
	RV vuosittain	0	0	0,009	0,17	0	0	0	0
L2	MJ vuosittain	0,78	0	3,35	1,58	1,18	0,10	0,58	0,17
	MJ max	1,22	0	5,24	2,47	1,84	0,15	0,90	0,27
	KJ vuosittain	-	-	4,88	1,86	0,86	0,19	0,19	0,45
	KJ max	-	-	9,92	2,47	1,74	0,39	0,39	0,92
L3	MJ vuosittain	0,13	0	1,09	0,67	0,28	0,14	0,56	0,06
	MJ max	0,15	0	1,26	0,77	0,32	0,16	0,68	0,07
	KJ vuosittain	-	-	1,92	0,56	0	0,10	0,13	1,06
	KJ max	-	-	3,12	0,91	0	0,17	0,21	1,73
	RAE vuosittain	-	-	2,04	0,73	0,32	0,07	0,04	0,69
	RAE max	-	-	5,57	1,99	0,88	0,18	0,12	1,90

<sup>1</sup> Suurin osa kongeneerikohtaisista tuloksista on alle määrittäysrajan. Huomioitu vain tulokset, joista yhdisteiden kongeneereista on saatu tulos (LOW). UPP-tulosten laskenta yliarvioisi PCDD/F ja lääkeaineiden hehtaarikuormituksia todennäköisesti hyvin merkittävästi etenkin puhdistamolietettä sisältämättömien lopputuotteiden kohdalla, koska lähes kaikki aineet ovat alle määrittäysrajan.

## 6.4 Yhteenveto

Useimpien tässä työssä tutkittujen aineryhmien pitoisuudet olivat alhaisempia kuin ehdotetussa biolietteen kemiallista laatua koskevassa säädösluonnoksessa on mainittu (EU 2000; taulukko 15). Ainoastaan LAS-yhdisteiden ja DEHP:n pitoisuudet joissakin näytteissä ylittivät nämä raja-arvot. Tässä työssä mitatut pitoisuudet olivat yhtä suuria tai alhaisempia kuin muualta Euroopasta (esim. Espanja, Saksa, Tanska, Norja) mitatut haitta-aineiden pitoisuudet (taulukko 15).

Tutkimuksessa mukana olleilla laitoksilla laitoksen raaka-aineen alkuperällä näytti olevan keskeinen merkitys lopputuotteen laadulle. Aineisto oli kuitenkin melko pieni, eikä sen perusteella voida arvioida laitosten sisäistä vaihtelua haitta-aineiden pitoisuuksissa pitkän ajan kuluessa.



---

## 7 Johtopäätökset ja suositukset

---

Tässä työssä tutkittuja biokaasulaitosten lopputuotteista valmistettuja lannoitevalmisteita olivat nestemäinen käsittelyjäännös, siitä mekaanisesti erotettu rejektivesi sekä kiinteät tuotteet, mekaanisesti erotettu kuivajae ja siitä valmistettu rae. Seuraavassa esitetään työn päätulokset ja niiden perusteella annetut suositukset.

### Tuotteiden hyödyntäminen kasvinravinteena

- Biokaasulaitosten käsittelyjäännösten pääasiallinen hyödyntämistapa on tällä hetkellä peltolevitys
- Satovaikutuksen kannalta merkittävin tieto viljelijälle on kasveille käyttökelpoisen typen pitoisuus ja sen jakautuminen epäorgaaniseen (ammonium ja nitraatti) sekä orgaaniseen tyypeen
  - o Liukoinen orgaaninen tyyppi on hitaammin kasvien käytettävissä kuin ammonium- ja nitraattityppi
  - o Osa orgaanisesta tyypestä liukoistuu biokaasuprosessin aikana, joten mädätys parantaa typen käyttökelpoisuutta siten, että se on nopeammin kasvien käytettävissä.
  - o Liukenematon orgaaninen tyyppi on käytännössä kasveille käyttökeltvotonta Suomen sääolosuhteissa, koska siitä mahdollisesti tapahtuva mineralisoituminen tapahtuu kasvien kannalta liian myöhään
- Parhaan satovaikutuksen saavuttamiseksi typen on vapauduttava kasvin käyttöön oikea-aikaisesti
  - o Esimerkiksi ohra käyttää runsaasti typpeä kasvukauden alussa ja kevätvehnä hieman hitaammassa tahdissa
  - o Kiinteät orgaaniset lannoitevalmisteet vapauttavat typpeä nestemäisiä hitaammin ja ne voisivat soveltua esim. vehnän valkuaispitoisuuden nostoon
- Lannoitevalmistelain edellyttämällä 1:5-vesiuutolla määritetty liukoinen tyyppi kuvaa melko hyvin nestemäisten lannoitevalmisteiden tyypilannoitusvaikutusta, mutta aliarvioi kiinteiden orgaanisten lannoitevalmisteiden lannoitusvaikutuksen
- 1:60-vesiuutto on testatuista menetelmistä paras yleismenetelmä kuvaamaan kasvukauden aikana käytettävissä olevan liukoisen typen määrää erityyppisillä orgaanisilla lannoitevalmisteilla
- Kiinteät lannoitevalmisteet sisältävät runsaasti kokonaisfosforia, mutta sen liukoisuus on alhainen. Liukenemista voi kuitenkin tapahtua pitkän ajan kuluessa
  - o Ympäristötukijärjestelmän käyttämä 40 %:n arvio puhdistamolietettä sisältävien lannoitevalmisteiden fosforin lannoitusvaikutuksesta vaikuttaa keskimäärin sopivalta arviolta
  - o Niillä orgaanisilla lannoitevalmisteilla (esim. ei sisällä puhdistamolietettä), joilla käytetään 1:5 vesiuuttoa fosforilannoituksen perusteena, fosforin käyttökelpoisuus aliarvioidaan
- Nestemäisten orgaanisten lannoitevalmisteiden tuotantovaikutus on verrattavissa mineraalilannoitteiden vaikutukseen.
- Kiinteiden orgaanisten lannoitevalmisteiden tuotantovaikutus on hieman huonompi kuin mineraalilannoitteiden vaikutus ainakin niiden osuuden ollessa suuri liukoisen typen kokonaiskäyttömäärästä, koska ne levitetään pintalevityksenä koko muokkauskerrokseen, jolloin niiden saatavuus kasveille on huonompi kuin sijoitetulla mineraalilannoitteella
- Orgaanisten lannoitevalmisteiden satovaste on herkempi olosuhteiden vaihtelulle kuin mineraalilannoitteiden

- Tasalaatuinen sato voidaan varmistaa käyttämällä orgaanisten lannoitevalmisteiden rinnalla mineraalityyppä, molempien ravinnetyyppien käyttömäärän muodostuessa kuitenkin samaksi viiden vuoden jaksolla
- Nestemäiset tuotteet tulisi levittää sijoitusmenetelmillä aina kun se on mahdollista paremman saavutuksen saavuttamiseksi ja kiinteät tuotteet tulisi mullata välittömästi pintalevityksen jälkeen haihtumisesta johtuvien ammoniakkitappioiden minimoimiseksi
- Nitraattiasetuksen mukaisen kokonaistypen (170 kg/ha) levitysmäärillä ei ole odotettavissa orgaanisen typen typpilannoitusvaikutusta seuraavana kasvukautena
- Biokaasulaitosten tuottamien ravinnetuotteiden sisältämää jäännöshiiltä voidaan pitää melko stabiilina, pääsääntöisesti alle 10 % tuotteiden hiilisisällöstä vapautui pitkäkestoisissa mineralisatiokokeissa
- Biokaasulaitosten tuottamista ravinnetuotteista ei vapaudu maassa merkittävää määrää liukenevatonta orgaanista tyyppiä, joka nostaisi maan epäorgaanisen typen määrää
  - Lannoitevalmisteen ammonium- ja nitraattitypen sekä vesiliukoisien orgaanisen typen pitoisuuksien mittaaminen antaa hyvät tiedot typpilannoitusvaikutuksen arvioimiseen

### Stabiilisuus ja toksisuus

- Biokaasulaitosten lopputuotteet kasvinravinnekäytössä eivät nosta peltomaan mikrobiologista aktiivisuutta merkittävästi, eikä stabiilisuuden mittaaminen näin ollen ole välttämätöntä tuotteiden maatalouskäytössä
- Merkittävää haitallisuutta kasveille eli fytotoksisuutta ei havaittu
  - Krassin siementen itävyys oli hyvä kaikilla tuotteilla (vähintään 90 %)
  - Juurenpituusindeksi oli kontrollina käytettyyn lantaan verrattuna alhaisempi ainoastaan yhdellä kuivajakeella
- Tuotteet eivät ole myrkyllisiä biotesteissä kasvinravinnekäyttöä vastaavissa pitoisuuksissa, kiinteillä jakeilla on nestemäisiä suurempi riski myrkylliseen vasteeseen

### Mikrobiologisten riskien hallinta

- Orgaaniset materiaalivirrat voivat sisältää ihmis-, eläin- tai kasviperäisiä taudinaiheuttajia
- Asianmukaisesti käsiteltyjä biokaasulaitosten lopputuotteita voidaan pitää niiden hygieenisyyden perustella turvallisina
- Mikrobiologisen laadun varmistamiseksi tulisi erityisesti huomioida: raaka-ainevalinta, tehokas esikäsittely (mm. partikkelikoko), käsittelyprosessin optimointi (varsinkin lämpötila ja aika), ohivirtauksien ja ristikontaminaation estäminen

### Orgaanisten haitta-aineiden esiintyminen

- Biokaasulaitoksilla hyödynnettävät raaka-aineet vaikuttavat orgaanisten haitta-aineiden esiintymiseen ja pitoisuuksiin
- Korkeimman hehtaarikuormituksen tutkituista yhdisteistä aiheuttivat puhdistamolietettä sisältävillä lannoitevalmisteilla LAS-yhdisteet, jotka kuitenkin vesiliukoisina yhdisteinä hajoavat maaperässä kohtalaisen nopeasti, eivätkä siten kerry maahan
- Tutkittujen orgaanisten haitta-aineiden pitoisuudet olivat yhtä suuria tai alhaisempia kuin muualta Euroopasta mitatut

- Aslam D.N., VanderGheynst J.S (2008). Predicting phytotoxicity of compost-amended soil from compost stability measurements, *Environmental Engineering Science* 25 (1), pp. 81–90.
- Bagge, E., Sahlström, L., Albiñ, A. (2005). The effect of hygienic treatment on the microbial flora of biowaste at biogas plants. *Water Research* 39: 4879-4886.
- Bagge, E. (2009). Hygiene aspects of the biogas process with emphasis on spore-forming bacteria. Doctoral Thesis No. 2009:28.
- Bagge, E., Persson, M., Johansson, K.-E. (2010). Diversity of spore-forming bacteria in cattle manure, slaughterhouse waste and samples from biogas plants. *Journal of Applied Microbiology* 109: 1549-1565.
- Benabdallah El-Hadj, T., Dosta, J., Torres, R., Mata-Álvarez, J. (2007). PCB and AOX removal in mesophilic and thermophilic sewage sludge digestion. *Biochemical Engineering Journal* 36: 281-287.
- Bendixen, H. J. (1994). Safeguards against pathogens in Danish biogas plants. *Wat. Sci. Tech.* 12: 171-180.
- Berg, G., Berman, D. (1980). Destruction by anaerobic mesophilic and thermophilic digestion of viruses and indicator bacteria indigenous to domestic sludges. *Appl. Environ. Microbiol.* 39 (2): 361-368.
- Bitton, G. (1999). *Wastewater microbiology*. 2nd edition. Wiley-Liss, New York.
- Carlander, A. (2006). Assessment of microbial health hazards associated with wastewater application to willow coppice, coniferous forest and wetland systems. *Acta Universitatis Agriculturae Suecia*. 2006:29 (Väitöskirja) Faculty of natural resources and agricultural sciences.
- Carlin, F., Girardin, H., Peck, M. W., Stringer, S. C., Barker, G. C., Martinez, A., Fernandez, A., Fernandez, P., Waites, W. M., Movahedi, S., van Leusden, F., Nauta, M., Moezelaar, R., Del Torre, M., Litman, S. (2000). Research on factors allowing a risk assessment of spore-forming pathogenic bacteria in cooked chilled foods containing vegetables: a FAIR collaborative project. *International Journal of Food Microbiology* 60: 117-135.
- Carrington, E. G. (2001). Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction, final report. Study contract no B4-3040/2001/322179/MAR/A2 for the European Commission directorate-general environment.
- Charles, P. Gerba, James, E. Smith, Jr. (2005). Sources of Pathogenic Microorganisms and Their Fate during Land Application of Wastes. *J. Environ. Qual.* Vol 34: 42-48.
- Colleran, E. (2000). Hygienic and sanitation requirements in biogas plants treating animal manures or mixtures of manures and other organic wastes. In: *Anaerobic Digestion: Making energy and solving modern waste problems*. Ed. H. Ørtenblad. AD-NETT, Herning Municipal Authorities, Denmark. pp. 77-86.
- De la Torre, A., Alonso, E., Concejero, M.A., Sanz, P., Martinez, M.A. (2011). Sources and behaviour of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) in Spanish sewage sludge. *Waste Management* (New York, N.Y.).
- Eduskunta 2006. Lannoitevalmistelaki 539. Annettu Naantalissa 29. kesäkuuta 2006.
- EEC 1991. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal L375*, 31/12/1991, 1 - 12.
- Eriksen, G.S., Amundsen, C.E., Bernhoft, A., Eggen, T., Grave, K., Halling-Sørensen, B., Källqvist, T., Sogn, T., Sverdrup, L. 2009.

Elving, J. (2009). Pathogen Inactivation and Regrowth in Organic Waste during Biological Treatment. Licentiate Thesis. Department of Biomedical Sciences and Veterinary Public Health. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala 2009. Report no. 3.

EN 13652. Soil improvers and growing media. Extraction of water soluble nutrients and elements.

EN Standard 16086-1:2011. Soil improvers and growing media. Determination of plant response. Part 1: Pot growth test with Chinese cabbage.

EN Standard 16086-2:2011. Soil improvers and growing media. Determination of plant response. Part 2: Petri dish test using cress.

Engeli, H., Edelman, W., Fuchs, J., Rottermann, K. (1993). Survival of plant pathogens and weed seeds during anaerobic digestion. *Wat. Sci. Tech.* 27: 69-76.

EPPO (2008). European Mediterranean Plant Protection Organization. Guidelines for the management of plant health risk of biowaste of plant origin. *EPPO Bulletin* 38: 3-8.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009 (sivutuoteasetus).

European commission (2001). Working document biological treatment of biowaste 2nd draft. European commission directorate-general environment. Brussels 12 February 2001.

European commission (2010). Working document sludge and biowaste, Brussels. European commission directorate-general environment.

European Food Safety Authority (2009). Scientific opinion. Statement on technical assistance related to the EFSA opinion on transformation of animal by-products into biogas and compost. *EFSA Journal* 2009: 7(11):1370.

European Food safety Authority (2010). EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ); Scientific Opinion on Quantification of the risk posed by broiler meat to human campylobacteriosis in the EU. *EFSA Journal* 2010; 8(1):1437. [89 pp.]. doi:10.2903/j.efsa.2010.1437. Available online: [www.efsa.europa.eu](http://www.efsa.europa.eu)

Evira (2009). Eläintaudit Suomessa 2008. *Eviran julkaisuja* 7/2009.

Evira (2010b). EU –tason selvitys broilerinlihan merkityksestä ihmisten kampylobakteeritartuntojen lähteenä <http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/ajankohtaista?bid=1876>. 24.2.2010

Evira(2010a).Salmonellatartunnat.

[http://www.evira.fi/portal/fi/elaimet/elainten\\_terveys\\_ja\\_elaintaudit/elaintaudit/usealle\\_elainlajille\\_yhteiset\\_taudit/salmonellatartunnat/](http://www.evira.fi/portal/fi/elaimet/elainten_terveys_ja_elaintaudit/elaintaudit/usealle_elainlajille_yhteiset_taudit/salmonellatartunnat/). 17.9.2010.

Evira (2012). [http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely\\_ja\\_tuotanto/lannoitevalmisteet/lainsaadanto/tyyppinimiluettelo/](http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely_ja_tuotanto/lannoitevalmisteet/lainsaadanto/tyyppinimiluettelo/). 27.12.2012.

Finnish Parliament (2006). Law 539/2006 and decree (12/07) for Fertiliser Products (in Finnish).

Henry, D. P., Frost, A. J., O'Boyle, D., Cameron, R. D. A. (1995). The isolation of salmonellas from pig-gery waste water after orthodox pondage treatment. *Aust. Vet. J.* 72: 478-479.

Hijnen, W. A. M., Willemsen-Zwaagstra, J., Hiemstra, P., Medema, G. J., van der Kooij, D. (2000). Removal of sulphite-reducing clostridia spores by full-scale water treatment processes as a surrogate for protozoan (oo)cyst removal. *Water. Sci. Technol.* 44: 165-171.

Horan, N. J., Fletcher, L., Betmal, S. M., Wilks, S. A., Keevil, C. W. (2004). Die-off of enteric bacterial pathogens during mesophilic anaerobic digestion. *Water Research* 38: 1113-1120.

ISO 6579:1993 Microbiology – General guidance on methods for the detection of Salmonella ISO 6579:1993 Microbiology – General guidance on methods for the detection of Salmonella J. C. de Man 1983: MPN Tables, Corrected. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology* (1983) 17:301–305.

ISO DIS 11269-2 (2010). OECD Test Guideline 207.

ISO Standard 21338 (2010) Water quality -- Kinetic determination of the inhibitory effects of sediment, other solids and coloured samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (kinetic luminescent bacteria test).

Itävaara, M., Vikman, M., Maunuksela, L., Vuorinen, A. (2010). Maturity Tests for Composts — Verification of a Test Scheme for Assessing Maturity, *Compost Science & Utilization* 18:174-183.

Jensen, J., Jepsen, S. (2005). The production, use and quality of sewage sludge in Denmark. *Waste Management* 25: 239-247.

Jepsen, S.-E., Krause, M., Grüttner, H. (1997). Reduction of faecal streptococcus and salmonella by selected treatment methods for sludge and organic waste. *Water Science and Technology* 36: 203-210.

Junttila, J. R., Niemelä, S. I., Hirn, J. (1988). Minimum growth temperatures of *Listeria monocytogenes* and non-haemolytic *Listeria*. *Journal of Applied Bacteriology*, 65: 321-7.

Kapuinen, P., Salo, T., Paavola, T. (2012). Orgaaniset lannoitevalmisteet ohran typenlähteenä. In: Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki : esitelmät, posterit / Toim.Nina Schulman ja Heini Kauppinen. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 7 p.

Kearney, T. E., Larkin, M. J., Frost, J. P., Levett, P. N. (1993). Survival of pathogenic bacteria during mesophilic anaerobic digestion of animal waste. *Journal of Applied Microbiology* 75: 215-219.

Kemppainen, E. (1989). Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. *Annales Agriculturae Fenniae* 28, 3: *Annales Agriculturae Fenniae. Seria Agrogeologia et – chimica*, University of Helsinki, Helsinki, Diss., pp 163-284.

Knoth, W., Mann, W., Meyer, R., Nebhuth, J. (2007). Polybrominated diphenyl ether in sewage sludge in Germany. *Chemosphere* 67: 1831-1837.

Komission asetus (EU) N:o 142/2011.

Kudva, I. T., Blanch, K., Hovde, C., J. (1998). Analysis of *Escherichia coli* O157:H7 Survival in Ovine or Bovine Manure and Manure Slurry. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol. 64, No 9: 3166-3174.

Lannoitevalmistelaki 539/2006.

Larsen, H. E., Munch, B., Schlundt, J. (1994). Use of indicators for monitoring the reduction of pathogens in animal waste treated in BGP's. *Zentralbl. Hyg. Umweltmed.* 195: 544-555.

Maatalouden ympäristötuen sitoutumisehdot (2010).

Mavi (2010). Täydentävät ehdot. Viljelytapa ja ympäristöehdot. Uusittu painos. 36 s.

Mitscherlich, E. A., Marth, E. H. (1984) *Microbial Survival in the environment*, Springer-Verlag.

MMM (2007). Maa- ja metsätalousministeriön asetus maatalouden ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä ja maatalouden ympäristötuen erityistuista 503. Annettu Helsingissä 26. huhtikuuta 2007

MMM (2008). Maa- ja metsätalousministeriön asetus maatalouden ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä ja maatalouden erityisympäristötuista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta 157. Annettu Helsingissä 14. maaliskuuta 2008

MMM (2011). Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24, 1 – 6 + 4 liitettä. Annettu Helsingissä 1. syyskuuta 2011

Nicholson, L. W., Munakata, N., Horneck, G., Melosh, H. J., Setlow, P. (2000). Resistance of *Bacillus* Endo-spores to Extreme Terrestrial and Extraterrestrial Environments. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 64 (3): 548-572.

Nicholson, F. A., Groves, S. J., Chambers, B. J. (2005). Pathogen survival during livestock manure storage and following land application. *Bioresource Technology* 96 (2): 135-43.

- Niskanen, T. (2010). *Diagnostics and Epidemiology of Yersinia pseudotuberculosis*. Väitöskirja. Helsingin yliopisto, Helsinki.
- Olson, M. E., O'Handley, R. M., Ralston, B. J., McAllister, T. A., Thompson, R. C. (2004). Update on Cryptosporidium and Giardia infections in cattle. *Trends Parasitol.* 20 (4):185-91.
- Ottoson, J. (2005). *Comparative analysis of pathogen occurrence in wastewater*. Doctoral Thesis in Land and Water Resource Sciences. Stockholm 2009 (1021).
- Pell, A. (1997). Manure and microbes: Public and animal health problem? *J. Dairy. Sci* 80:2673-2681.
- Penn, C.J., Sims, T. (2002). Phosphorus froms in biosolids-amended soils and losses in runoff: Effects of wastewater treatment process. *Journal of Environmental Quality* 31: 1349–1361.
- Prats, D., Ruiz, F., Vázquez, B., Rodriguez-Pastor, M. (1997). Removal of anionic and nonionic surfactants in a wastewater treatment plant with anaerobic digestion. A comparative study. *Water Research* 31: 1925-1930.
- Romdhana, M. H., Lecomte, D., Ladevie, B., Sablayrolles, C. (2009). Monitoring of pathogenic microorganisms contamination during heat drying process of sewage sludge. *Process Safety and Environmental Protection* 87 (6): 377-386.
- Ryckeboer, J. (2002). The fate of plant pathogens and seeds during anaerobic digestion and aerobic composting of source separated household wastes. *Compost Science and Utilization* 10: 204-216.
- Sahlström, L. (2003). A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants. *Bioresource Technology* 87: 161-166.
- Sahlström, L, Bagge, E, Emmoth, E, Holmqvist, A, Albiñ, A (2008). A laboratory study of survival of selected microorganisms after heat treatment of biowaste used in biogasplants. *Bioresource Technology*, 99 (16), 7859-7865.
- Schowaneck, D., David, H., Francaviglia, R., Hall, J., Kirchmann, H., Krogh, P.H., Schraepen, N., Smith, S., Wildemann, T. (2007). Probabilistic risk assessment for linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in sewage sludge used on agricultural soil. *Regulatory Toxicology and Pharmacology : RTP* 49: 245-259.
- Schnürer, A., Schnürer, J. (2006). Fungal survival during anaerobic digestion of organic household waste. *Waste Management* 26 (11): 1205–1211.
- Sharpley, A.N., Moyer, B. (2000). Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality* 29, 1462 -1469.
- Skillman, L., C., Bajsa, O., Ho, L., Santhanam, B., Kumar, M. Ho, G. (2009). Influence of high gas production during thermophilic anaerobic digestion in pilot-scale and lab-scale reactors on survival of the thermotolerant pathogens *Clostridium perfringens* and *Campylobacter jejuni* in piggery wastewater. *Water Research* 43: 3281-3291.
- Smith, S., R., Lang, N., L., Cheung, K., H., M., Spanoudaki, K. (2005). Factors controlling pathogen destruction during anaerobic digestion of biowastes. *Waste Management* 25: 417-425.
- Srivastava, R.N., Lund, E. (1980). The stability of bovine parvovirus and its possible use as an indicator for the persistence of enteric viruses. *Water Research* 14(8), 1017-1021.
- Suomen standardisoimisliitto SFS (2009). CEN tekninen raportti CEN/TR 15809, 2009-01-26. Characterization of sludges. Hygienic aspects. Treatments.
- Suomen standardisoimisliitto SFS (1984) Veden fekaalisten streptokokkien lukumäärän määrittäminen pesäkemenetelmällä.
- Suomen standardisoimisliitto SFS SFS-EN 26461-2 (1993). Veden laatu. Sulfiittia pelkistävien anaerobioiden (klostridit) itiöiden osoitus ja lukumäärän määrittäminen. Osa 2: Kalvosuodatusmenetelmä.
- THL (2008-2010). [www.thl.fi](http://www.thl.fi) 24.2.2010.

Venglovsky, J., Sasakova, N., Placha, I. (2009). Pathogens and antibiotic residues in animal manures and hygienic and ecological risks related to subsequent land application, *Bioresource Technology*, 100 (22), 5386-5391.

VN (2000). Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta 931. Annettu Helsingissä 9. marraskuuta 2000.

Vuorinen, A., Pitkälä, A., Siitonen, A., Hänninen, M-L., von Bondorff, H., Ali-Vehmas, T., Laakso, T., Johansson, T., Eklund, M., Rimhanen- Finne, R., Maunula, L. (2003). Livake 2001-2002. Sewage sludge and sludge products for agricultural use – a study on hygienic quality. Ministry of Agriculture and Forestry in Finland.

Wagner, A., Gstraunthaler, G., Illmer, P. (2008). Survival of bacterial pathogens during the thermophilic anaerobic digestion of biowaste. Laboratory experiment and in situ validation. *Anaerobe* 14: 181-183.

Wang, G., Zhao, T., Doyle, M. P. (1996). Fate of Enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in Bovine Feces. *Applied and Environmental Microbiology* 62 (7): 2567–2570.

Yoo, H., Washington, J.W., Jenkins, T.M., Ellington J.J. (2011). Quantitative determination of perfluorochemicals and fluorotelomer alcohols in plants from biosolid-amended fields using LC/MS/MS and GC/MS. 45.

Zoonosikeskus (2010). [www.zoonosikeskus.fi](http://www.zoonosikeskus.fi) 24.2.2010.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

# MTT RAPORTTI

[www.mtt.fi/julkaisut](http://www.mtt.fi/julkaisut)

MTT Raportti -julkaisusarjassa julkaistaan maatalous -ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

