

# BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN KÄYTTÖ OHRAN LANNOITTEENA

Terhi Partanen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2012

Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma  
Luonnonvara- ja ympäristöala





Tekijä(t) PARTANEN, Terhi	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 06.05.2012
	Sivumäärä 35	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus ( ) saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi BIOKAASULAITOKSEN MÄDÄTYSJÄÄNNÖKSEN KÄYTTÖ OHRAN LANNOITTEENA		
Koulutusohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) ANTTONEN, Erkki		
Toimeksiantaja(t) MTT Maaninka		
Tiivistelmä <p>Biokaasutus jalostaa lannan ravinteita ja tuottaa monikäyttöistä energiaa. Fosforivarojen vähetessä ja lannoitteiden hintojen noustessa maataloudessa ei ole varaa jättää hyödyntämättä lannan arvokkaita ravinteita. Jatkuva kehitys ja tutkimus ovat tae mahdollisimman tehokkaalle ravinnekierrolle.</p> <p>Maa- ja elintarviketutkimuskeskuksessa Maaningalla tutkittiin mädätysjäännöksen lannoitevaikutusta ja verrattiin sen ominaisuuksia raakalantaan nurmella ja ohralla. Työssä käsitellään kolmevuotisen lannoituskokeen tulokset ohran osalta.</p> <p>Mädätys osoittautui potentiaalisesti lannankäsittelymenetelmäksi. Sen lannoitusominaisuudet olivat raakalantaa paremmat, ja kasvit kykenivät hyödyntämään hyvin sen sisältämät ravinteet normaaliolosuhteissa. Vertailua suoritettiin satojen lisäksi jyvien ravinnepitoisuuksien ja tuhannen jyvän painojen osalta. Tulokset antavat suuntaa tuleville tutkimuksille ja ovat vahvistamassa biokaasulaitosta suunnittelevien tilojen päätöksen tekoa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Biokaasu, mädätysjäännös, orgaaninen lannoite, ohra, lannoitus, lannoitusvaikutus, liete		
Muut tiedot		



Author(s) PARTANEN, Terhi	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 06.05.2012
	Pages 35	Language Finnish
	Confidential <input type="checkbox"/> Until	Permission for web publication <input checked="" type="checkbox"/>
Title THE USE OF FERMENTATION RESIDUE OF A BIOGAS PLANT IN FERTILIZATION OF BARLEY		
Degree Programme Degree Programme in Agriculture and Rural Industries		
Tutor(s) ANTTONEN, Erkki		
Assigned by MTT Maaninka (Agrifood Research Finland)		
Abstract <p>Fermentation by a biogas reactor refines the nutrients of dung and produces energy for many applications. As the phosphorus reserve is about to dry up and the price of fertilizers rise, agriculture simply cannot afford the waste potential nutrients of dung. Continual development and research are a guarantee for sufficient circulation of nutrients.</p> <p>Fertilization effects of digestion litter were researched in MTT Maaninka. The results were compared to the fertilization effects of non-prepared cow slurry with grass and barley. This thesis represents the results of the fertilizer tests for barley during three years.</p> <p>Fermentation was found out to be a potential dung-processing method. The fertilizing qualities of digestion litter turned out to be better than the corresponding qualities of plain cow slurry, and plants were able to utilize the nutrients well in normal conditions. The comparison was made between the yields, as well as the nutrient values of the seeds and the weight of a thousand seeds. The results open up a path for up-coming research and reinforce the decision-making for farms that are planning to invest in biogas facilities.</p>		
Keywords Biogas, fermentation residue, digestion litter, barley, organic fertilizer, fertilization effect, slurry		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>TYÖN LÄHTÖKOHDAT .....</b>	<b>3</b>
1.1	Tausta.....	3
1.2	Toimeksiantaja.....	3
1.3	Tehtävä ja tavoitteet.....	4
<b>2</b>	<b>TUTKIMUKSEN TAUSTAT.....</b>	<b>5</b>
2.1	Lannoituskoe.....	5
2.2	Biokaasu Suomessa.....	6
2.3	MTT Maaninnan biokaasulaitos.....	7
2.4	Rehuohra .....	8
2.5	Lietelanta .....	8
2.6	Mädätysjäännös.....	10
<b>3</b>	<b>MENETELMÄT.....</b>	<b>12</b>
3.1	Kenttäkoe.....	12
<b>4</b>	<b>ANALYYSIT .....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>KOEVIUODET .....</b>	<b>17</b>
5.1	Yleistä.....	17
5.2	Sademäärät.....	17
5.3	Lämpötilat.....	18
5.4	Lämpösummat.....	21
<b>6</b>	<b>KOKEIDEN TULOKSET .....</b>	<b>22</b>
6.1	Maaperä ja lannoitus.....	22
6.2	Satotulokset.....	24
<b>7</b>	<b>TULOSTEN SOVELTAMINEN KÄYTÄNTÖÖN.....</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>POHDINTA.....</b>	<b>33</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>35</b>
	<b>LIITTEET .....</b>	<b>3</b> Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

## KUVIOT

KUVIO 1. Määtysjäännöksestä separoitu kuivajae. (Virkajärvi 2009).....	12
KUVIO 2. Koerutujen sijoittuminen.....	13
KUVIO 3. Biotilan ruutumultain. (Virkajärvi 2009).....	14
KUVIO 4. Koevuosien sademäärät vertailujaksoon nähden .....	17
KUVIO 5. Koevuosien keskilämpötilat vertailujaksoon nähden.....	18
KUVIO 6. Maan lämpötila 5 cm:n syvyydessä .....	19
KUVIO 7. Maan kosteutta kuvaavat tensiometrilukemat koalueella 20 cm syvyydessä vuosina 2009 - 2011. Mitä suurempi imupaine, sitä kuivempi maa.....	20
KUVIO 8. Kuukausittaiset lämpösummakertymät koevuosina .....	21
KUVIO 9. Ensimmäisen koevuoden sadot .....	25
KUVIO 10. Toisen koevuoden sadot.....	26
KUVIO 11. Kolmannen koevuoden sadot.....	27
KUVIO 12. Tuhannen jyvän painot vuosivertailuna eri lannoitteilla.....	28
KUVIO 13. Satoon sitoutunut fosfori eri lannoitteilla .....	30
KUVIO 14. Typpitaseet eri lannoitteilla.....	31

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Maan hiukkasjakauma koepaikoilla .....	22
TAULUKKO 2. Orgaanisten lannoitteiden keskimääräiset ravinne ja.....	23
TAULUKKO 3. Orgaanisten lannoitteiden levitysmäärät.....	23
TAULUKKO 4. Eri lannoituksilla saavutetut jyvien N- ja P-sadot.....	29

# 1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

## 1.1 Tausta

Lannoitteiden ja polttoaineiden hinnat ovat ennen näkemättömässä nousussa, samoin ydinvoimalla tuotetun sähkön. Muutosta ei ole luvassa ainakaan parempaan suuntaan, ellei asiaa ajatella uudella tavalla. Käytettäessä rajallisia luonnonvaroja, ne loppuvat. Voitaisiinko muutosta saada keskittymällä uusiutuviin luonnonvaroihin, biotalouden periaatteiden mukaisesti?

Mielenkiintoisen vaihtoehdon uusiutuvien energia- ja lannoitemahdollisuuksien saralla tarjoaa biokaasu. Biokaasusta saadaan monipuolista energiaa niin lämmitykseen kuin liikennepolttoaineeksi. Kaasutetuista materiaaleista syntyy ravinnerikasta mädätysjäännöstä. Sitä on tutkittu vasta vähän, mutta sen sisältämä potentiaali kiinnostaa monia. Biokaasulaitokset sijoitetaan yleensä lähelle raaka-aine lähteitä. Maatilat soveltuvat biokaasulaitosten sijoituspaikoiksi niin raaka-aineiden saatavuuden kuin mädätysjäännöksen hyödyntämistarpeen vuoksi.

## 1.2 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Maa- ja elintarviketutkimuskeskuksen Maaningan toimipiste. Mahdollisuus opinnäytetyöaiheeseen tarjoutui kesällä 2011 suoritettuna harjoittelun myötä. Päätymässä olevaa lannoituskoetta aiheeksi ehdotti erikoistutkija Perttu Virkajärvi. BIOTILA- hanke tutkii biokaasuteknologian hyödyntämistä ja kehittämistä Pohjois-Savossa. Hanke on jatkoa hyötylanta - projektille. Hanketta rahoittavat Pohjois-Savon ELY-keskus Euroopan maatalousrahastosta, osa Pohjois-Savon kunnista sekä MTT. Osana BIOTILA- hanketta tutkittiin biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen lannoitusvaikutusta nurmeen ja ohraan vuosina 2009- 2011. Tässä opinnäytetyössä perehdytään mädätysjäännöksen lannoitusvaikutuksen tutkimustuloksiin ohrakokeen osalta.

### **1.3 Tehtävä ja tavoitteet**

Opinnäytetyössä käsitellään kolmivuotisen lannoituskokeen tuloksia ohran osalta ja pohditaan tulosten perusteella mädätteen sopivuutta ohran viljelyyn. Separoimalla mädätysjäännöstä saatiin erilleen kuivajae ja nestejae. Lannoitteiden vertailussa käytetään erilaisia tuloksia, kuten sadon kokoa, hehtolitrainoa ja ravinnetaseita. Koevuosia vertaillaan säiden, kasvupaikkojen ja lannoitteiden koostumuksen perusteella.

Lannoituskokeen ensisijaisena tavoitteena oli selvittää biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen erot raakalannan lannoitevaikutukseen. Kokeessa pyrittiin selvittämään eri lannoitteiden sisältämän liukoisen typen vaikutus suhteessa väkilannoitetyyppeen. Mädätyksen aiheuttamia raaka-aineen muutoksia ja muutosten mahdollisia viljelyllisiä etuja tutkittiin mielenkiinnolla. Biokaasutuksen odotettiin vähentävän lantamäärää ja rikastavan sen ravinteikkuutta.

Toisena tavoitteena oli selvittää separoinnista aiheutuvia hyötyjä. Analysoimalla saatiin selvitettyä separoitujen jakeiden sisältämät typpi ja fosforimäärät. Jakeiden täsmäajoituksella, esimerkiksi nestejakeen levityksellä oraille, haettiin etua viljan kehitykselle.

Kolmantena tavoitteena oli etsiä toimintatapaa, jossa mädätysjäännöksellä voitaisiin korvata osa väkilannoitteesta. Mädätysjäännöksen lannoitevaikutusta verrattiin eri tyyppiportaisiin, jotta löydettäisiin käytännössä tiloille sopiva lannoitusvaihtoehto. Luotettavien tulosten pohjalta olisi mahdollista saada konkreettisia säästöjä viljelijöiden väkilannoiteostoihin mädätysjäännöksen käytöllä.

## 2 TUTKIMUKSEN TAUSTAT

### 2.1 Lannoituskoe

Euroopan unioni on asettanut tavoitteita uusiutuvien energianlähteiden osuuden nostamisesta ja biokaasun tuotannon lisäämisestä. Biokaasun tuotantoa lisättäessä myös lopputuotteena syntyvän mädätysjäännöksen määrä lisääntyy.

Mädätysjäännöksen hyödyntämisestä ei ole vielä laajalti julkaistua tietoa, mutta sitä on tutkittu MTT:llä ja sen ominaisuuksista ollaan kiinnostuneita.

Biokaasulaitokseen syötettävä raaka-aine vaikuttaa syntyvän kaasun määrään ja mädätteen ominaisuuksiin. Lantaa suositellaan käytettäväksi biokaasutuksen perusraaka-aineena sen vakauttaessa prosessia ja toimiessa puskurina pH:n vaihteluille, jolloin mikrobit pystyvät toiminaan aktiivisesti.

Maa- ja elintarviketutkimuskeskuksen Maaningan toimipisteessä tutkittiin mädätteen lannoitusominaisuuksia kenttäkokeessa osana BIOTILA- hanketta. Kenttäkoe perustettiin koeaseman pellolle. Kokeessa käytettiin ensimmäistä vuotta lukuun ottamatta koeaseman biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä sekä koeaseman tutkimusnavetan lietettä.

Kokeessa oli mukana kymmenen eri koejäsentä. Orgaanisia lannoitteita oli mukana neljä. Raakalanta ja biokaasutuksen läpi käynyt mädätysjäännös olivat kiinnostavimmat. Mädätysjäännöstä separoitiin niin että yhtenä koejäsenenä oli pelkkä kuivajae ja yhtenä kuivajae + nestejae oraille. Väkilannoiteruutuja oli viisi ja lisäksi nollaruutu, jota ei typpilannoitettu lainkaan. Väkilannoiteruudut lannoitettiin portaittain 20, 40, 60, 80 ja 100 kg/ha. Näihin typpilannoitusportaisiin vertaamalla pyrittiin havainnoimaan orgaanisten lannoitteiden lannoitusvaikutusta.

Päätarkoituksena oli tutkia, miten biokaasutus vaikuttaa lannan ominaisuuksiin ja ravinteiden hyödynnettävyyteen raakalantaan verrattuna.

Mädätysjäännöstä separoitiin ruuvikuivaimella alustavana tarkoituksena saada kuivaosaan suurin osa fosforista ja nesteosaan lähes kaikki liukoinen typpi.



## 2.2 Biokaasu Suomessa

Biokaasurekisterin (Huttunen & Kuittinen 2011) mukaan vuonna 2010 Suomessa tuotettiin 37,5 milj. m<sup>3</sup> biokaasua 16:lla jäteveden puhdistamolla, kolmessa teollisuuden jätevesiä puhdistavassa laitoksessa, kuudessa kiinteitä yhdyskuntajätteitä käsittelevässä laitoksessa sekä maatilakohtaisissa laitoksissa 10:llä eri paikkakunnalla. Sitä hyödynnettiin sähkön ja lämmöntuotantoon sekä mekaanisena energiana yhteensä 179 GWh (Huttunen & Kuittinen 2011.)

Kaatopaikat olivat Suomessa suurimpia biokaasun tuottajia. Kaatopaikkojen biokaasun metaanipitoisuus vaihteli välillä 32- 64 %. Biokaasua kerättiin 39 kaatopaikalta yhteensä 101,5 milj. m<sup>3</sup>, jolla tuotettiin 242,4 GWh energiaa. Kaatopaikoilta kerättyä kaasua ylijäämäpoltettiin enemmän kuin muissa biokaasulaitoksissa (Huttunen & Kuittinen 2011.)

Kaasukäyttöisiä ajoneuvoja oli Suomessa vuonna 2009 noin sata kappaletta. Vuonna 2010 niitä oli jo kaksisataa. Kaasuautojen maakaasutankkausasemia on Etelä-Suomessa useita, mutta biokaasutankkausasemia on Suomessa ollut vuoteen 2011 saakka vain yksi, Metener Oy:n Laukaassa sijaitseva tankkausasema. Gasum kaavaili vuodelle 2012 jopa 15 uutta autojen kaasutankkausasemaa (Huttunen & Kuittinen 2011.)

Maatilakohtaisten biokaasulaitosten määrä oli lisääntymässä. Vuonna 2010 maatiloilla tuotettiin biokaasua yhteensä 0,767 milj. m<sup>3</sup>, mikä on hieman vähemmän kuin vuonna 2009. Verrattuna vuoden 2008 reiluun 0,4 milj. m<sup>3</sup> kaasuntuotantoon suunta näytti olevan nousussa. Biokaasulla energian tuottaminen kiinnosti yhä useampia, ja uusien laitosten rakentaminen oli vilkastumassa. Maatilakokoluokan biokaasulaitoksissa oli korkeita metaanipitoisuuksia (55–67 %), ja kaasu hyödynnettiin tarkasti. (Huttunen & Kuittinen 2011.)

Maatilakohtaisten laitosten vahvuutena ovat joustavuus ja sijainti lähellä tuotantoalueita. Kaasun määrää voidaan säädellä tarpeen mukaan esimerkiksi kasvibiomassojen käytöllä. Kaasutus antaa käyttökohteen kesantojen kasvustoille sekä vuoroviljelyssä ajoittain syntyvälle ylituotannolle (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007.). Säilörehulisällä voidaan jopa kaksinkertaistaa kaasusta

saatava energiamäärä (Luostarinen, Logrén, Grönroos, Lehtonen, Paavola, Rankinen, Rintala, Salo, Ylivainio, & Järvenpää 2011 46). Lannan biokaasutuksella voidaan vähentää maatiloilla syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä sekä levitettävän lannan määrää.

### **2.3 MTT Maaningan biokaasulaitos**

MTT Maaningan vuonna 2009 valmistunut biokaasulaitos tuottaa biokaasusta lämpöenergiaa (lämmintä vettä) 85 kW:n kaasukattilalla, sekä sähköä ja lämpöä 63 kW:n CHP-laitteella. Pieni osa energiasta menee reaktorin omaan toimintaan, kuten biokaasureaktorin lämmitykseen, lietteiden sekoitukseen ja pumppaukseen. Suurin osa käytetään tutkimusaseman navetan ja muiden rakennusten tarpeisiin. Biokaasulaitoksen suunnittelusta ja rakennuksesta vastaa Metener Oy (Pyykkönen 2012.)

Kaasutuksen raaka-aineina toimii koeaseman navetan 100- 120 naudan tuottama lietelanta sekä peltojen kasvibiomassoja kuten nurmea ja ruokohelpeä. Lanta johdetaan navetan lietekuilusta ensin 100 m<sup>3</sup>:n esisäiliöön, josta se pumpataan 260 m<sup>3</sup>:n reaktoriin. Reaktori pidetään mesofiilisessä 37 °C:n lämpötilassa. Reaktorista mädätysjäännös siirtyy ylivirtauksena 260 m<sup>3</sup>:n jälkikaasualtaaseen, joka tuottaa 10–20 % kokonaisbiokaasusta. Kaasu kerätään reaktorin ja jälkikaasualtaan päällisiin kaasukalvoihin ja johdetaan sieltä kaasun polttolaitteille. Reaktorissa on kaksi ja jälkikaasualtaassa yksi jatkuvatoiminen propellisekoitin. Lopputuote johdetaan lietevarastoon ja käytetään tilan pelloilla lannoitteena. Hydraulinen viipymä on syötemääristä riippuen n. 24–26 vuorokautta reaktorissa ja saman verran jälkikaasualtaassa. (Pyykkönen 2012.)

## **2.4 Rehuohra**

Suomessa eniten viljellystä viljalajista ohrasta on jalostettu kaksi- ja monitahoisia lajikkeita. Pyrkimyksenä on viljellä käyttötarkoituksesta riippumatta suurijyväistä, satoisaa ja puhdasta ohraa. Kaksitahoiset ovat myöhemmin tuleentuvia, suurempijyväisiä ja vahvempikortisia kuin monitahoiset. Rehuohran arvostetut ominaisuudet ovat valkuais- ja energiapitoisuus, jotka vaihtelevat eri lajikkeilla. Hyvällä ohralla on korkea hehtolitrapaino (yli 62 kg) ja se on puhdasta taudeista ja rikkakasvin siemenistä. (Ohran kasvuohjelma n.d.)

Ohra vaatii pellolta hyvän pH:n, mielellään yli 6. Se on herkkä etenkin fosforin puutokselle, maan tiivistymiselle ja hallalle. Eri lajikkeilla on erilaisia vaatimuksia maalajin ja pH:n sekä lannoituksen suhteen. Ohra kylvetään touko- kesäkuussa 3-5 sentin syvyyteen. Rehuohran sopiva kasvutiheys on 450–500 kpl/m<sup>2</sup>. Sen menestymiseen vaikuttavat kasvuolosuhteiden lisäksi merkittävästi kasvukauden aikaiset toimenpiteet kuten tautisuojaus ja korrenvahvistus (Anttonen 2009.)

Ohraa lannoitetaan tyypellä maalajin mukaan, eloperäisillä maalajeilla vähemmän ja karkeilla kivennäismailla enemmän, noin 60–90 kg/ha. Fosforilannoitetta annetaan maan viljavuusluokan mukaan 10–30 kg/ha (Anttonen 2009.) Kaikki ohran tarvitsemat ravinteet annetaan yleensä kylvölannoituksena, koska viljat ottavat runsaasti ravinteita heti kasvukauden alussa. Tärkein kasvuun ja jyvän valkuaispitoisuuteen vaikuttava lannoite on typpi. (Rehuohran lannoitus n.d.) Kasvukauden aluksi otettu typpi käytetään versoproteiinien valmistamiseen. Kun jyvät alkavat täyttyä, voivat samaiset versoproteiinit pilkkoutua aminohapoiksi ja siirtyä jyvien proteiineiksi, mikäli maassa ei ole riittävästi liukoista typpeä (Alakukku, Jaakkola, Kari, Kleemola, Mäntylähti, Partanen, Peltonen, Puustinen, Savela, Sipiläinen, Tauriainen & Yli-Halla. 2009, 13.)

## **2.5 Lietelanta**

Liete on arvokasta lannoitetta kotieläintiloille. Sen koostumus ja ravinnepitoisuus vaihtelevat runsaasti. Erityisesti koostumukseen vaikuttaa eläinlaji, eläinten ruokinta sekä pesu- ja sadevesien pääsy lietalannan joukkoon (Alakukku, Alasuutari, Hellstedt,

Kari, Mattila, Mustonen, Paavola, Palva, Palojärvi, Partanen, Ruoho, Salo, Tolonen, Torniainen, Tuori, Turtola, Valaja & Vuorio 2009. 2009, 5.)

Naudan lietelanta sisältää keskimäärin  $3\text{kg}/\text{m}^3$  typpeä, josta noin puolet on liukoisessa muodossa. Sian lietteessä on typpeä keskimäärin  $3,8\text{kg}/\text{m}^3$ , josta liukoista  $2,7\text{ kg}$ . Lanta on haasteellinen lannoite sen sisältämän hidasliukoisen orgaanisen typen vuoksi. Sen käyttökelpoisuuteen vaikuttavat merkittävästi levitysjankkohta sekä – menetelmä.

Kasveille käyttökelpoisia ovat typen liukoiset muodot: ammoniumtyyppi  $\text{NH}_4$ , sekä nitraattityppi  $\text{NO}_3$ . Orgaanisen aineksen kuten karjanlannan sisältämä ammoniakki mineralisoituu mikrobitoiminnan myötä liukoiseen muotoon. Mineralisoituminen on hidas ja arvaamaton prosessi joten sen potentiaalia ei voida hyödyntää viljeltäessä yksivuotisia kasveja. (Alakukku, Jaakkola ym.2009, 14-17)

Fosforia naudon lietteessä on keskimäärin  $0,5\text{kg}/\text{m}^3$  ja sianlietteessä  $0,8\text{ kg}/\text{m}^3$ . Lietteiden käyttöä lannoitteena säätelee typen osalta nitraattiasetus ja fosforin osalta maatalouden ympäristötuki. Ympäristötuen osalta maan viljavuusluokka rajoittaa fosforin levitystä, etenkin viljavuusluokan ollessa hyvä tai korkea. Typen ja fosforin lisäksi lietteet sisältävät monipuolisesti kasveille hyödyllisiä ravinteita, kuten kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia (Alakukku, Alasuutari ym. 2009, 23.)

Lietteiden lannoituskäyttöä heikentäviä tekijöitä on useita. Liukoinen typpi haihtuu ammoniakkinä sekä varastoinnin, että levityksen aikana. Nitraattityppi voi huuhtoutua pellossa salaojiin ja pohjavesiin. Fosforin suurin hävikki tapahtuu pintavaluntana. Lannasta haihtuu myös rikkivetyä, hiilidioksidia ja suuria määriä metaania. Haihtumista tapahtuu lantaa sekoitettaessa ja levitettäessä, etenkin lämpimällä ja tuulisella säällä. Tärkeää on myös huomata lannan levityksen hygieniariskit. Lanta tulisi levittää muokattaville tai juuri muokatuille pelloille sekä nurmille heti sadonkorjuun jälkeen niin että seuraavaan sadonkorjuuseen on mahdollisimman pitkä aika. Tällöin ulosteperäiset bakteerit ehtivät tuhoutua eivätkä aiheuta eläimille suoraa tai välillistä, huonolaatuisen rehun aiheuttamaa tautiriskiä (Alakukku, Alasuutari ym 2009, 38; Kapuinen 1996.)

## 2.6 Määtysjäännös

Määtysjäännöksen lannoituskäytöstä on julkaistu vain vähän suomenkielistä tutkimustietoa. Perusteoksia, kansainvälisiä lähteitä ja alustavia koetuloksia sekä lannan analyysejä hyödyntäen muodostettiin raamia määtysjäännöksen lannoitevaikutuksista. Kokeen lopputulokseen vaikuttivat kasvuolosuhteet ja viljelytekniikka.

Tutkimusmateriaali koottiin MTT Maaningan toimipisteessä ja johtopäätökset tehtiin tulosten pohjalta. Teoriataustana toimivat muun muassa MTT:n raportit: *Lietelannan käyttö nurmikierrossa ja Lannan kestävä hyödyntäminen* sekä tieto tuottamaan – sarjan *Maatilyrityksen bioenergian tuotanto, Lannan käsittely ja käyttö* sekä *Ravinteet kasvintuotannossa*. Yleisteoksena oli *Maa, viljely ja ympäristö. Koneviesti ja Käytännön maamies* -lehdissä oli artikkeleita aiheeseen liittyen. Maaningan biokaasulaitoksen tiedot tulivat laitoksen käyttäjiltä. Tutustuminen määtysjäännöstä tutkineiden Petri Kapuisen, Erkki Joki-Tokolan ja Pasi Mattilan julkaisuihin antoi hyvän pohjan tulosten tulkinnalle.

Useiden lähteiden mukaan määtetty materiaali olisi lannoitusominaisuuksiltaan parempaa raakalantaan verrattuna. Käsittelyjäännöksen kuiva-ainepitoisuus pieneni ja viskositeetti parani syötettyihin jakeisiin nähden. Tasalaatuisuuden vuoksi se oli helpompaa levittää ja imeytyi nopeammin maahan levityksen jälkeen (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007.) On tutkittu, että lannoitteen ravinnepitoisuus nousee kuiva-ainepitoisuuden ja pH:n noustessa (Heinonen, Hartikainen, Aura, Jaakkola & Kempainen 1992).

Yksivuotisilta kasveilta jää hyödyntämättä suurin osa lannan hidasliukoisesta typestä. Siksi erityisen kiinnostavaa määtöksessä oli orgaanisen typen osittainen (30–80 %) muutos ammoniumtypeksi, jolloin se oli suoraan kasvin hyödynnettävissä. Ammoniumtyyppi on myös helpommin haihtuvaa (Joona 2008; Paavola & Kuittinen 2006; Luostarinen, Logrén, Grönroos, Lehtonen, Paavola, Rankinen, Rintala, Salo, Ylivainio, & Järvenpää 2011; Lehtomäki ym. 2007.) Haihtumisherkkyiden vuoksi viljelymenetelmät nousivat merkittäväksi tekijäksi typen säilymisen kannalta. Käsittelyjäännös tuli joko sijoittaa peltoon tai mullata välittömästi levityksen jälkeen.

Näillä toimenpiteillä liukoinen typpi jäi kasvien hyödynnettäväksi eikä haihtunut ilmaan (Kapuinen 2010; Pohjola 2011.)

Fosforia on usein karjanlannalla lannoitetuissa pelloissa runsaasti ja sen pääsy vesistöihin aiheuttaa rehevöitymistä. Vesiliukoinen fosfori, jonka osuus raakalannassa on noin 70 %, väheni kaasutusprosessin aikana, jopa 20–30 %. Fosforin kokonaismäärä ei vähentynyt, mutta sen liukoisuus ja samalla valumisherkyys vähenivät. Vesiliukoisuuden muutokset eivät heikennä fosforin käyttökelpoisuutta kasville (Luostarinen ym. 2011, 29.) Muut ravinteet, kuten kalium, kalsium, magnesium ja mikroravinteet, eivät tietävästi muuttuneet prosessoinnin aikana, joten ne jäivät kasvien käytettäväksi. (Paavola & Kuittinen 2006; Lehtomäki ym. 2007.)

Kaasutetulla materiaalilla oli kasveille otollisempi hiili-typpisuhde 1:1 verrattuna raakalantaan 1,1:1. Lopputuote oli hajuttomampaa raakalantaan verrattuna, jolloin levittäminen oli ympäristölle miellyttävämpää eikä haju houkuttanut kärpäsiä. Käsittelyjäännös oli hygieenisempää, koska suurin osa taudin aiheuttajista sekä rikkakasvinsiemenistä kuoli kaasutusprosessissa. Mädätysjäännös oli turvallisempaa levittää säilörehunurmille kuin raakalanta (Al Seadi, Rutz, Prassl, Köttner, Finstewalder, Volk & Janssen 2008.)

Kritiikkiä mädätysjäännös sai siitä, että mädätyksessä syntyvä mikrobisto oli sopeutunut hapettomiin oloihin ja siksi hyödytöntä peltoviljelyssä. Maanparannusominaisuudeltaan mädäte ei myöskään ollut yhtä hyvää kompostiin verrattuna, koska mädätyksessä ei synny humusyhdisteitä, joilla oli tärkeä tehtävä maan kationivaihdossa. (Joona 2008.)

## 3 MENETELMÄT

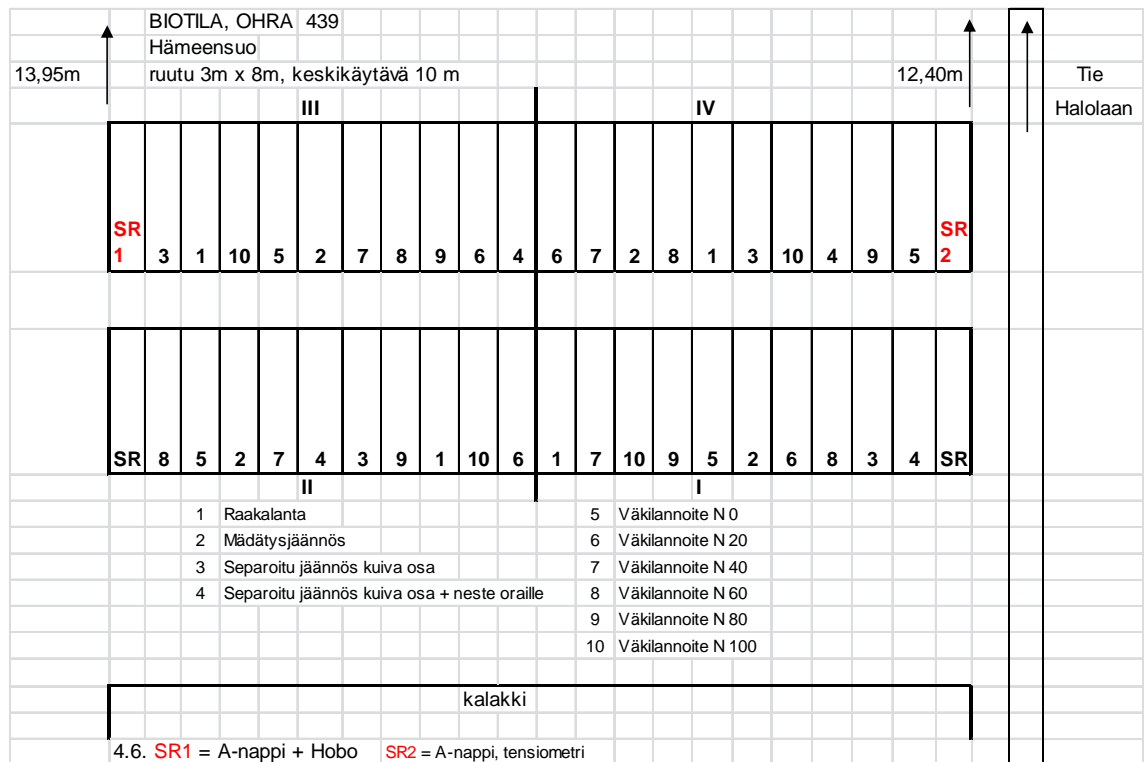
### 3.1 Kenttäkoe

Lannoituskoe suoritettiin pellolla kenttäkokeena normaaleissa viljelyolosuhteissa. Lannoituskokeessa oli mukana 10 koejäsentä ja jokaisesta neljä kerrannetta. Kerranteissa toistettiin käsittelyt mahdollisimman samankaltaisena. Tällä pyrittiin minimoimaan ympäristöstä koituvat erot eri koejäsenten välillä. Ensimmäisenä koevuonna 2009 kuivajae loppui kesken, jolloin sen tuloksia ei voitu huomioida kokeessa. Kuviossa 1 on mädätysjäännöksen separointia.



KUVIO 1. Mädätysjäännöksestä separoitu kuivajae. (Virkajärvi 2009)

Satoruudun koko oli 12 m<sup>2</sup>, eli 1,5m\*8m. Satoruutu sisältyi 3m\*8 m lannoiteruudun sisään minkä vuoksi erillisiä suojaruutuja ei tarvittu. Keskikäytävän leveys oli 10 metriä. Kuviossa 2 on karttakuva koeruutujen sijoittumisesta. Asetelmaa kutsutaan satunnaistettujen lohkojen kokeeksi. Koealueen neljälle lohkolle eli kerranteelle arvottiin koeruudut satunnaisesti niin, etteivät yhden koejäsenen ruudut olleet samoilla kohdilla, esimerkiksi reunassa, tai tiettyjen ruutujen naapureina. Näin pyrittiin minimoimaan systemaattisen virheen mahdollisuus. Suojaruudut, lyhenne SR, sijoittuvat rivien molempiin päihin suojaamaan koeruutuja nk. reunavaikutukselta.



KUVIO 2. Koerutujen sijoittuminen

Koealue kynnettiin ruutujen suuntaisesti, millä estettiin ravinteiden siirtyminen ruudulta toiselle. Ruudut kylvettiin poikittain Voitto-ohralla. Ohrakoe oli vuonna 2009 nurmikokeen vieressä, jossa se lakoontui liian kostean kasvupaikan vuoksi. Kasvupaikka oli myös maalajistoltaan epätasainen ja aiheutti epätoivottua vaihtelua kasvustoon. Kahdeksi seuraavaksi satovuodeksi koe siirrettiin peltolohkon toisen päähän. Jälkimmäisellä koepaikalla ruudut olivat samoilla kohdilla molempina vuosina 2010 ja 2011.

Väkilannoitus annettiin Juko -kylvölannoittimella ennen kylvöä. Lannoitteina käytettiin superfosfaattia, kalisuolaa sekä suomen salpietaria. Liete sekä käsittelyjäännös levitettiin omavalmisteisella, nostolaitesovitteisella 1 m<sup>3</sup> vetoisella ruutumultaimella ammoniakkin haihtumisen estämiseksi (kuvio 3). Kontin työleveys oli 150 cm ja siinä oli kuusi vannasta, jotka multasivat lietteen. Kuivalanta levitettiin käsin ennen kylvöä ja mullattiin jyrsimellä. Nestefaasi levitettiin oraille kastelukannuilla varoen vahingoittamasta oraita. Ohralle ei suoritettu tautien tai laon torjuntaa.





KUVIO 3. Biotilan ruutumultain. (Virkajärvi 2009)

Kesällä 2009 kokeelle levitettiin Metener Oy:n biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä, jonka sisältö koostui naudan lietelannasta (syöttömäärä 2000 t/v) sekä makeistehtaan jätteistä (syöttömäärä 200t/v). Kesällä 2010 käytettiin MTT Maaningan biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä, joka oli peräisin naudan lietelannan (syöttömäärä 10 t/vrk) ja sipulijätteen (syöttömäärä 800 kg/vrk) yhteiskäsittelykokeesta. Kesällä 2011 käytetty Maaningan biokaasulaitoksen mädätysjäännös oli peräisin naudan lietelannan (syöttömäärä 10t/vrk) ja ruokohelpisäilörehun (syöttömäärä 700kg/vrk) yhteiskäsittelykokeesta. Mädätysjäännös otettiin biokaasulaitoksen jälkikaasualtaan jälkeisestä kaivosta. Kokeissa käytetty raakalanta otettiin reaktorin esisäiliöstä.

Lietteiden ravinnepitoisuudet vaihtelivat vuosittain. Orgaanisissa lannoitteissa typen kokonaismäärän suunniteltiin olevan n. 80 kg/ha, vaikka todellisuudessa sitä meni 69–165 kg/ha. Liukoista typpeä oli noin puolet kokonaistypen määrästä. Fosforin määrä vaihteli välillä 11–24 kg/ha. Eniten fosforia saivat kuivajakeella ja nestejakeella yhteislannoitetut koeruudut. Kaliumista ei ollut orgaanisilla ruuduilla puutetta.

Väkilannoiteruuduille annettiin typpeä 0-100 kg/ha portaiden mukaan. Fosforia annettiin kaikille väkilannoiteruuduille 15 kg/ha kaksois-super- P lannoitteena. Kaliumia annettiin kalisuolana 50–70 kg/ha.

Sadonkorjuu tapahtui 150 cm työlevyisellä ruutupuimurilla. Ruutujen sato puitiin kukin omaan pussiinsa, jossa se punnittiin. Puinnin yhteydessä otettiin n. 100 g:n erä josta määritettiin kuiva-ainepitoisuus. Ruutusadot kuivatettiin pusseissa, jonka jälkeen ne puhdistettiin. Puhtaasta viljasta määritettiin tuhannen jyvänpaino ja hehtolitraino, sekä lähetettiin näyte laboratorioanalyysiin.

## 4 ANALYYSIT

Maanäytteet otettiin jokaiselta ruudulta kokeen perustamisvaiheessa. Niistä selvitettiin perusviljavuus, kokonaisfosfori ja -typpi, sekä liukoinen typpi. Syksyisin otettiin kattavat maanäytteet joka ruudulta, kolmesta eri syvyydestä: 0-2 cm, 2-10 cm ja 10 - 25 cm. Maa-analyysit tehtiin MTT:n laboratoriossa Jokioisilla.

Ohrasta analysoitiin hehtolitraino, tuhannen jyvän paino, sekä typpi- ja fosforipitoisuus. Silmämääräisesti havainnointiin orastuminen, tähkiminen ja tuleentuminen. Lisäksi määritettiin ojennettu korkeus, lako- % ja puintikosteus. Säähavainnointi tapahtui ilmatieteenlaitoksen Maaningan toimipisteessä, jonka lisäksi suojaruuduilla oli joka vuosi jatkuvatoimisia maan lämpötilamittareita, eli loggereita (Hobo, A-nap). Tensiometrit, jotka mittasivat maan kosteutta veden imupaineen avulla, oli sijoitettu 20 cm:n syvyyteen ja luettiin viikoittain. Lehtialaindeksimittaus suoritettiin ohran pensomisvaiheessa ja siitä kaksi viikkoa myöhemmin. Näin saatiin kuva kasvuun lähden intensiteetistä.

Orgaaniset lannoitteet analysoitiin viljavuuspalvelun lanta-analyysillä. Lietteistä analysoitiin liukoinen ja kokonaistyppi sekä fosfori, kalium, kuiva-aine ja tilavuuspaino. Niiden ravinnepitoisuuden ja kuiva-aineprosentin todettiin vaihtelevan paljon, mikä vaikeutti analysointia. Ennen levitystä otettiin suuntaa antavat analyysit, joiden perusteella laskettiin levitettävät määrät. Levitettävistä lietteistä otettiin uudet analyysit, jotta saatiin tieto todellisista lannoitemääristä.

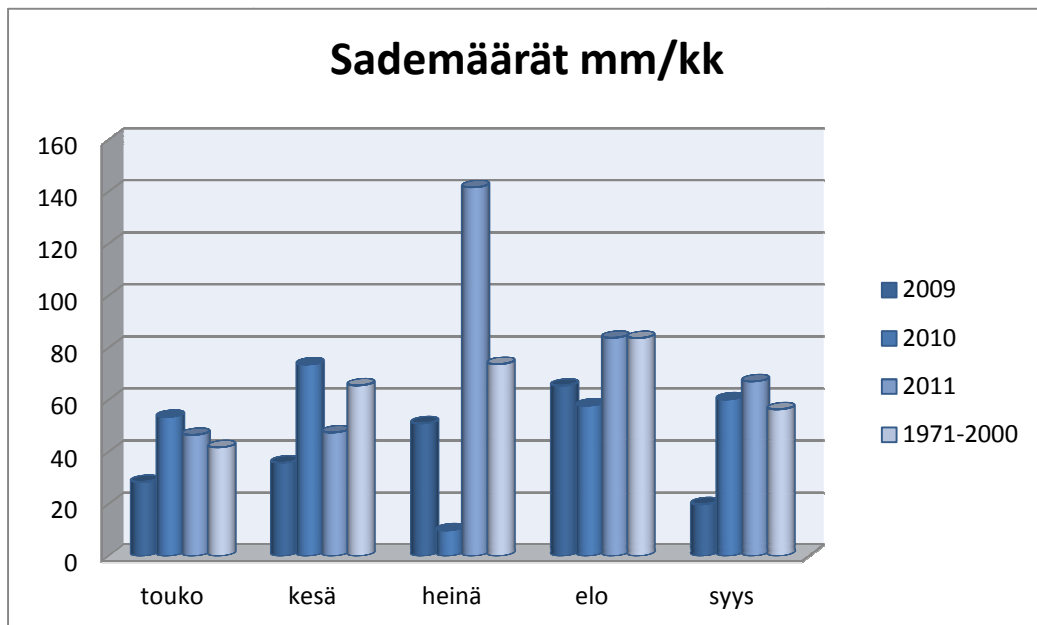
## 5 KOEVUODET

### 5.1 Yleistä

Lannoituskoee suoritettiin vuosina 2009- 2011, jolloin sääolosuhteet olivat hyvin vaihtelevat eri vuosina. Koepaikkaa vaihdettiin vuoden 2009 jälkeen liian kostean kasvupaikan vuoksi. Lakoa oli havaittavissa ainoastaan kyseisenä vuonna, vaikka vuosi oli keskimäärin vähäsateinen. Koevuodet olivat vertailujaksoon nähden lämpimiä. Kesä 2010 oli todella kuuma ja kuiva. Sademäärät ja lämpötilat mitattiin MTT Maaningan toimipisteessä, eli ne eivät ole Suomen keskiarvoja.

### 5.2 Sademäärät

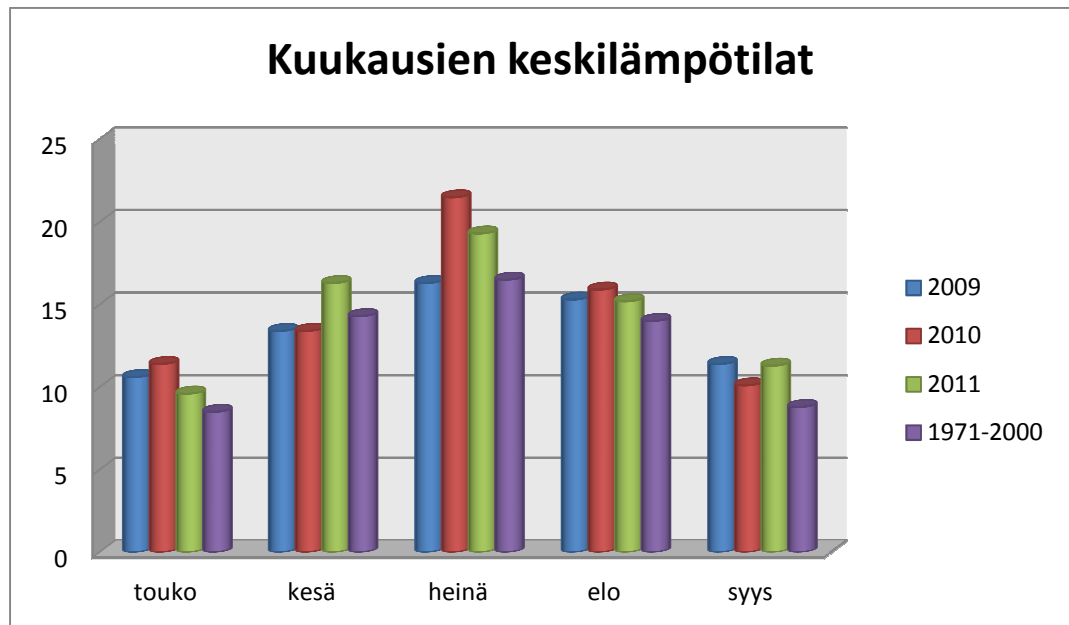
Sademäärät vaihtelivat etenkin heinäkuun osalta runsaasti eri vuosina (ks. kuvio 4). Sadetta tuli tasaisimmin vuonna 2009 vaikka määrät jäivät vertailujaksoa vähäisemmiksi. Vuonna 2010 oli ennätysellisen kuiva heinäkuu mikä vaikutti ohran jyvien korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen sekä lyhytkortisuuteen. Vuosi 2011 oli sademääriltään lähimpänä vertailujakson sademääriä. Poikkeuksen teki heinäkuun, jolloin satoi kaksi kertaa, eli noin 70 ml enemmän kuin vertailujakson aikana keskimäärin.



KUVIO 4. Koevuosien sademäärät vertailujaksoon nähden

### 5.3 Lämpötilat

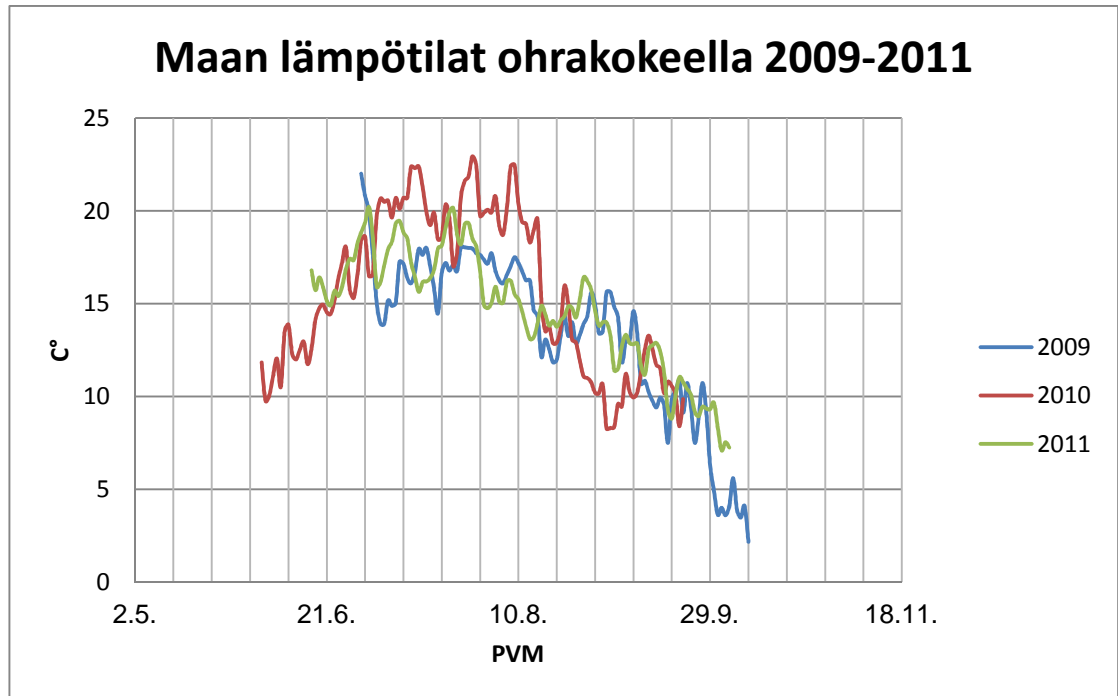
Kuten kuviosta 5 käy ilmi, olivat kaikki koevuodet kesäkuuta lukuun ottamatta, lämpimämpiä kuin vertailujakson kuukaudet keskimäärin. Vuonna 2010 heinäkuun keskilämpötila nousi 21,5 asteeseen, vertailujakson keskiarvon ollessa 16,5 astetta. Yksikään koevuosi ei jäänyt erityisen viileäksi, eikä kasvusto kärsinyt koevuosina hallasta.



KUVIO 5. Koevuosien keskilämpötilat vertailujaksoon nähden

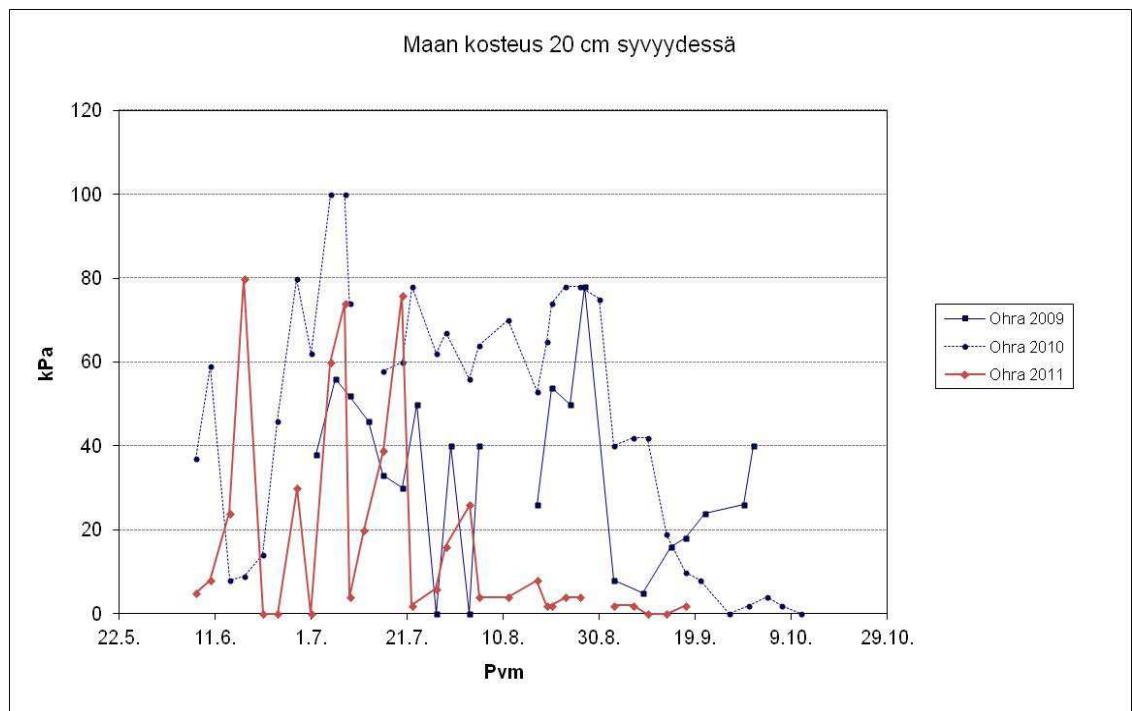
Maan lämpötila kuvaa tarkemmin ohran kasvuolosuhteita. Lämpötilaa mittaavat loggerit asennettiin joka vuosi hieman eri aikaan. Kuviosta 6 näkyy vuosien 2009 ja 2011 lähes yhtenevät maan lämpötilat. Vuosi 2010 erottuu erittäin lämpimänä heinäkuuna ja elokuun alkuna. Kyseisen vuoden elokuun loppupuoli oli selvästi muita koevuosia viileämpi.

Maan lämpötilaa ja kosteutta mitattiin ennen kaikkea typen ammonifikaation ja nitrifikaation vuoksi. Ammonifikaatio eli typen mineralisoituminen on pieneliötoiminnan aikaansaamaa typen vapautumista orgaanisesta aineksesta kasveille käyttökelpoiseen mineraalimuotoon. Pieneliöt tarvitsevat otolliset olosuhteet toimiakseen aktiivisesti. Nitrifikaatio on kaksivaiheinen tapahtuma jossa nitrosomonas -bakteeri muuttaa ensin ammoniumtypen nitriitiksi. Tämän jälkeen Nitrobacter -bakteeri muuttaa nitriitin kasveille käyttökelpoiseksi nitraatiksi. Maan lämpötila ja kosteus vaikuttavat voimakkaasti typen vapautumiseen orgaanisista lannoitteista.



KUVIO 6. Maan lämpötila 5 cm:n syvyydessä

Tensiometrejä oli ohrakokeella joka vuosi yksi kappale. Sen lukema käytiin tarkistamassa kaksi kertaa viikossa ja tarvittaessa lisättiin vettä. Hyvin kuivina aikoina tensiometri imi kaiken veden jolloin se näytti nollaa. Myös sateen jälkeen imupaine oli nolla, mikä tarkoittaa että tensiometrin sisä- ja ulkopuolella on yhtä suuri kosteus. 2009 tensiometri asennettiin melko myöhään, jolloin alkukesän olosuhteista ei ole tarkkaa tietoa. Imupaine on melko alhainen, eli vettä on ollut riittävästi. Vuosi 2011 on alkukesästä kuiva, mikä näkyy korkeina piikkeinä imupaineessa kuviossa 7. Tämä on voinut vaikuttaa maaperän pieneliötoimintaan niin, ettei typpeä vapautunut alkukesästä silloin kun ohra sitä eniten tarvitsi. Loppukesästä vettä tulee runsaammin. Kesä 2010 on kauttaaltaan kuiva, mikä vaikutti selkeästi satoon.

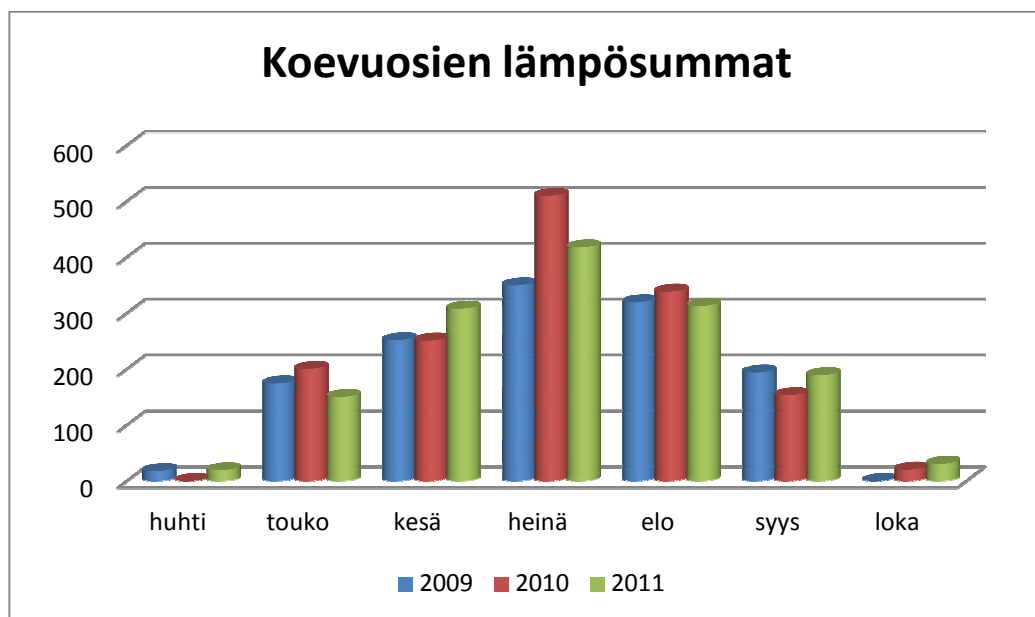


KUVIO 7. Maan kosteutta kuvaavat tensiometrillukemat koalueella 20 cm syvyydessä vuosina 2009 - 2011. Mitä suurempi imupaine, sitä kuivempi maa.

## 5.4 Lämpösummat

Lämpösumma on keskeinen kasvien kasvukauden pituutta kuvaava luku. Siinä lasketaan yhteen vuorokausien keskilämpötilat, joista on vähennetty viisi astetta. Näin lämpösumma alkaa kertyä keskilämpötilan ylittäessä +5 astetta, jolloin kasvien katsotaan yhteyttävän tehokkaasti. Lämpösumman kertymistä kutsutaan termiseksi kasvukaudeksi. Kesinä 1971–2000 keskimääräinen lämpösumma toukokuusta syyskuuhun oli 1171 astetta. Vuonna 2009 lämpösummaa kertyi 1290 astetta. Koejakson lämpimimmän kesän 2010 lämpösumma oli lähes 1454 astetta laskien hieman vuonna 2011 mitattuun 1378 asteeseen.

Terminen kasvukausi alkoi 2009 ja 2011 jo hutikuussa ja jatkui vuosina 2010 ja 2011 lokakuulle. Kuviosta 8 käy ilmi, kuinka heinäkuussa on ollut poikkeuksetta eniten lämpimiä vuorokausia. Lämpimin vuosi oli 2010 ohittaen vuoden 2011 lähes 100 asteella. Lokakuut olivat joka vuosi hieman edellisiä lämpimämmät.



KUVIO 8. Kuukausittaiset lämpösummakertymät koevuosina



## 6 KOKEIDEN TULOKSET

### 6.1 Maaperä ja lannoitus

Ohrakokeen maalaji oli hyvin hienojakoista koostuen pääasiassa savesta ja hiesusta, kuten taulukosta 1 ilmenee. Maan hiukkasjakauma ja viljavuus pysyivät koepaikan vaihtumisesta huolimatta hyvin samankaltaisina.

TAULUKKO 1. Maan hiukkasjakauma koepaikoilla

<b>OHRAKOE</b>	<b>2009</b>	<b>2010 &amp; 2011</b>
Savi (S)	37,6	33,9
Hieno hiesu (HHs)	23	18
Karkea hiesu (KHs)	15,5	16,6
Hieno hieta (HHt)	9,6	23
Karkea hieta (KHt)	9,3	7,5
Hieno hiekka (HHk)	3,3	1
Karkea hiekka (KHk)	1,7	0
Hieno sora (HSr)	0	0
Karkea sora (KSr)	0	0
	100	100

Lietteiden analysointi osoittautui luultua haastavammaksi ja ravinne -sekä kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat näytteiden välillä. Yhdistetty lieteanalyysi koettiin parhaaksi tavaksi kuvata lietteiden sisältöä, huolimatta arvojen suuresta hajonnasta.

Toisin kuin kirjallisuudessa, kokeessa mädätys ei näyttänyt lisäävän typen määrää ja liukoisen typen osuus kohosi vain hieman. Separoitu nestefaasi noudatteli mädätysjäännöksen ravinnepitoisuuksia, eikä separointi laskenut toivotusti sen fosforipitoisuutta. Kuten taulukosta 2 käy ilmi separoituun kuivaan osaan jäi noin kolminkertainen määrä fosforia, mutta myös melkein kaksinkertainen määrä typpeä verrattuna mädätysjäännökseen. Kaasutetun materiaalin kuiva-ainepitoisuus väheni kaasutuksen yhteydessä.

TAULUKKO 2. Orgaanisten lannoitteiden keskimääräiset ravinne ja kuiva-ainepitoisuudet

YHDISTETTY LIETEANALYYSI	kok N kg N/tn tuore	liuk N kg N/tn tuore	ka %	P kg P/tn tuore	K kg K/tn tuore
Raakaliete (esisäiliö)	3,2	1,7	7,7	0,49	2,7
Mädätysjäännös	2,9	1,4	4,8	0,49	3,3
Separoitu kuiva osa	5,3	1,6	25,8	1,42	3,0
Separoitu nestefaasi	2,9	1,5	3,7	0,46	3,3

Taulukossa 3 on kaikkien koevuosien orgaaniset lannoitemäärät. Väkilannoiteportaatt saivat kaiken typpensä liukoisessa muodossa sekä lisäksi fosforia lannoitetasosta riippumatta 15 kg/ha. Vuonna 2009 kuivajae loppui kesken.

TAULUKKO 3. Orgaanisten lannoitteiden levitysmäärät

LANNOITUKSET 2009	Liete tn/ha	Kok N kg/ha	Liuk. N kg/ha	P lann kg/ha
Raakalanta	28,9	75	41	16
Mädätysjäännös	24,6	69	38	14
Separoitu kuiva osa	-	-	-	-
Separoitu kuiva osa + neste oraille	3+27	90	47	20

LANNOITUKSET 2010	Liete tn/ha	Kok N kg/ha	Liuk. N kg/ha	P lann kg/ha
Raakalanta	38,3	92	58	11
Mädätysjäännös	36,7	92	55	15
Separoitu kuiva osa	16	123	61	15
Separoitu kuiva osa + neste oraille	16+25	151	61	24

LANNOITUKSET 2011	Liete tn/ha	Kok N kg/ha	Liuk. N kg/ha	P lann kg/ha
Raakalanta	35	165	81	24
Mädätysjäännös	35	141,8	50	19,6
Separoitu kuiva osa	16	120	64	22,4
Separoitu kuiva osa + neste oraille	16+25	165	57	34,4

Lannoitteiden ravinnemäärät laskettiin aiempien analyysien perusteella. Pelloille levitetyistä lannoitteista otettiin analyysit, jotta tiedettiin tarkat ravinnemäärät. Tavoitteena oli mahdollisimman hyvin lannoitekäyttöön sopivan levitysmäärän löytäminen. Liukoisen typen levitys määrä pyrittiin saamaan noin 50:een kg/ha

## **6.2 Satotulokset**

Satoja vertailtiin joka vuodelta erikseen varianssianalyysin avulla. Vertailuun käytettiin kunkin koejäsenen tulosten keskiarvoja. Orgaanisten lannoitteiden välillä suoritettiin vertailua kontrastilauseiden P-arvojen avulla. P tulee sanasta Probability, eli todennäköisyys. P-arvo kuvaa riskiä sille että ollaan väärässä. Yleisesti hyväksytty riski on pienempi kuin 0.05. Mikäli P-arvo on suurempi kuin 0.20 ei käsittelykeskiarvojen eroilla ole merkitystä, eli virheen todennäköisyys on suuri. Vertailu orgaanisten- ja väkilannoitteiden välillä suoritettiin graafisesti ja ne näkyvät satokuvissa (Virkajärvi 2012.)

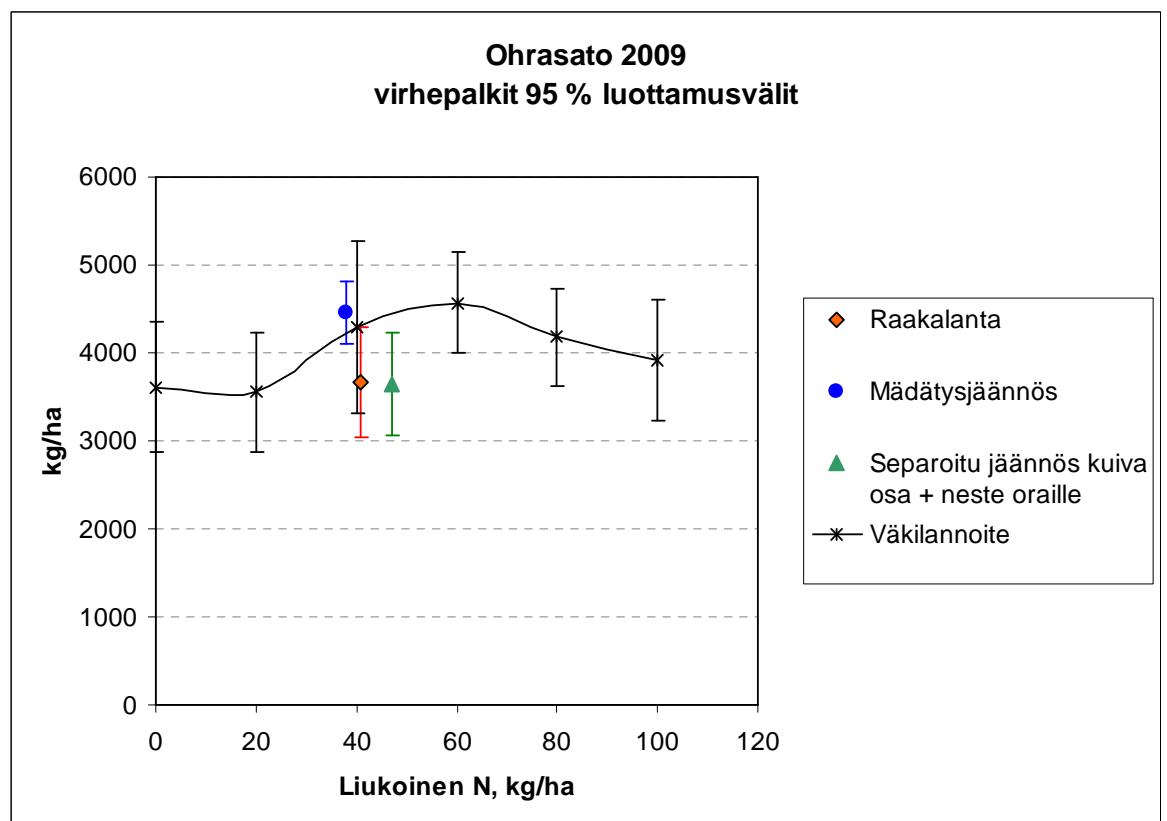
Satokuvissa näkyvät virhepalkit on laskettu keskiarvon keskivirheen (standard error of mean = SEM) perusteella. Se kuvaa otoksen hajontaa keskiarvon takana. Tulosten eron voidaan sanoa olevan tilastollisesti merkitsevä, mikäli virhepalkit eivät mene päällekkäin.

Satokuvissa tarkastellaan orgaanisten lannoitteiden sisältämän liukoisen typen käyttökelpoisuutta suhteessa väkilannoitetyyppeen. Koska orgaanisten lannoitteiden typen määrä tiedetään tarkasti vasta levityksen jälkeen, ja koska eri lannoitteissa levitetään eri määriä liukoista typpeä, on tämä tarkastelu tarkempi kuin P-arvot jotka ovat joka vuodelta omina liitteinään liitteenä (Virkajärvi 2012.)

Sanonta ”vuodet eivät ole veljeksiä” sopi hyvin satotuloksiin. 15 %:n kosteuteen yhtenäistetty jyväsato hehtaaria kohden laskettuna oli vuonna 2009 keskimäärin lähes 4000 kg. Sato oli hyvä, vaikka kylvöpäivä olikin myöhäinen, 17.6.

Väkilannoitetyppi lisäsi satoa käyräviivaisesti, ja suurin sato saavutettiin väkilannoitetasolla 60 kg/ha (ks. kuvio 9).

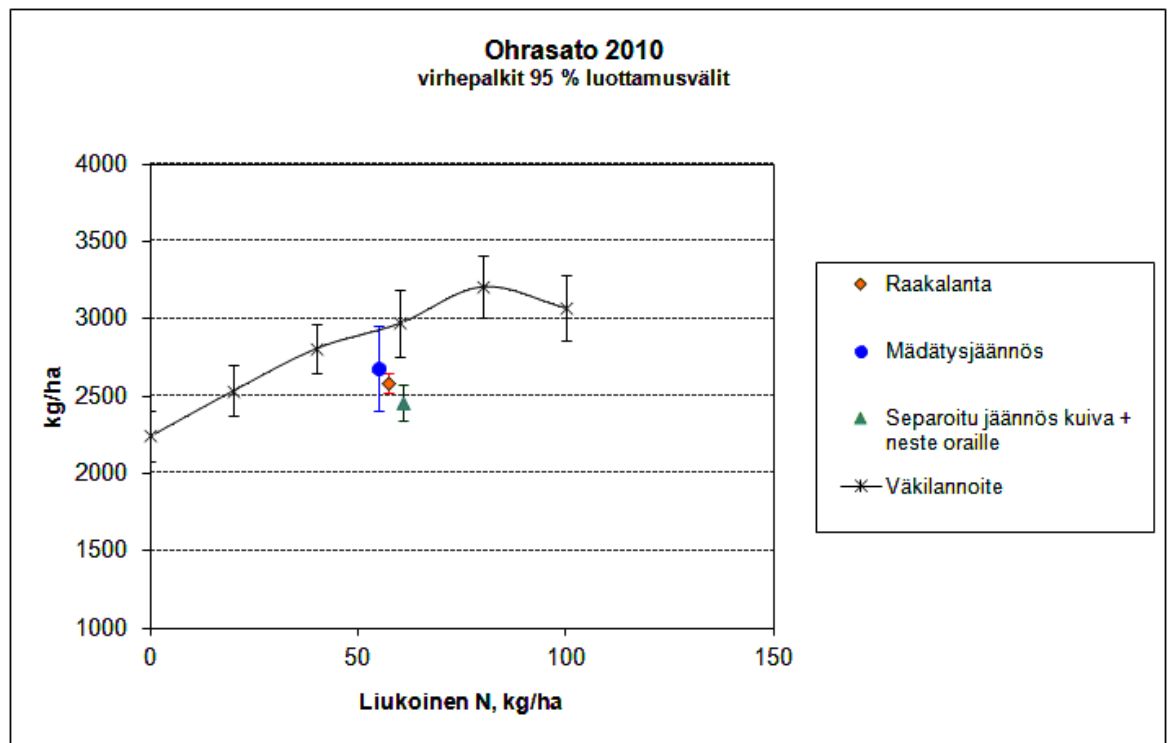
Raakalanta ja separoitu kuiva + neste oraille jäivät 3500 kg/ha tasolle, vain mädätysjäännös tavoitti väkilannoitteiden satotason. Virhepalkit kuitenkin paljastavat satojen väliset vaihtelut. Tästä voidaan päätellä, etteivät satojen erot ole tilastollisesti merkitseviä. Raakalannan ja mädätysjäännöksen vertailun P-arvo 0.02 (ks. liite 1). Mädätysjäännöksellä saavutettu keskisato oli lähes 800 kg parempi kuin raakalannalla saavutettu.



KUVIO 9. Ensimmäisen koevuoden sadot pystyjana = keskivirhe

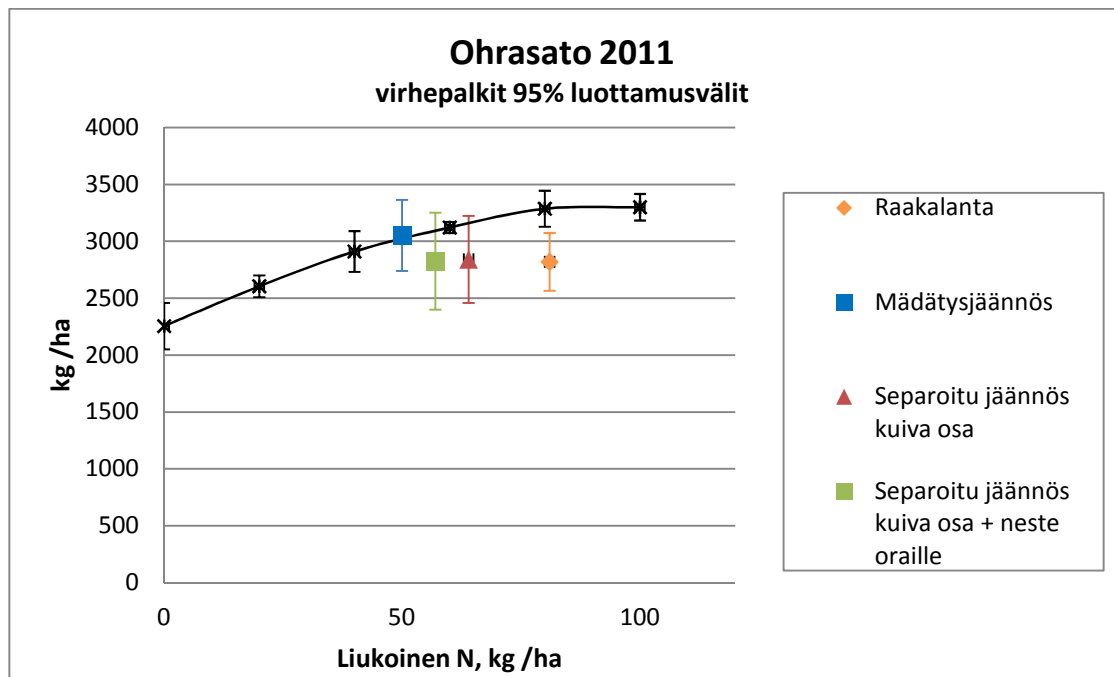
Vuonna 2010 keskisato laski reippaasti, ollen 2700kg. Kylvö tapahtui ajoissa 3.6. Suurimpaan satoon päästiin 80 kg:n väkilannoitustasolla. Orgaaniset lannoitteet eivät yltäneet väkilannoitteiden satoihin.

Suurimmat satovaihtelut olivat mädätysjäännöksellä, mikä käy ilmi virhepalkkien koosta kuviossa 10. Separoitu jäännös kuiva + neste oraille antaa pienimmän sadon orgaanisista lannoitteista. Ilmeisesti orgaanisten lannoitteiden heikko menestys johtuu kuivasta kesästä jolloin maan mikrobisto ei kyennyt normaaliin hajotustoimintaan.



KUVIO 10. Toisen koevuoden sadot

Vuonna 2011 ohra kylvettiin 6.6. ja sato asettui edellisten vuosien väliin, keskisadon ollessa n. 2900 kg. Väkilannoitetyppi lisäsi satoa käyräviivaisesti, suurin sato saavutettiin tasolla 80 kg N/ha (ks. kuvio 11). Mädätysjäännös antaa liukoisen typen mukaisen keskisadonsadon väkilannoitekäyrään verrattaessa. Muut orgaaniset jäivät alle kolmen tuhannen kilon satoihin korkeammista liukoisen typen määristä huolimatta. Separoitu jäännös + neste oraille, sekä separoidun kuiva osan virhepalkit yltyvät väkilannoitekäyrälle, jolloin niiden tulos on raakalantaa parempi. Mädätysjäännöksen ja raakalannan vertailun P-arvo oli 0.13 (ks. liite 3).

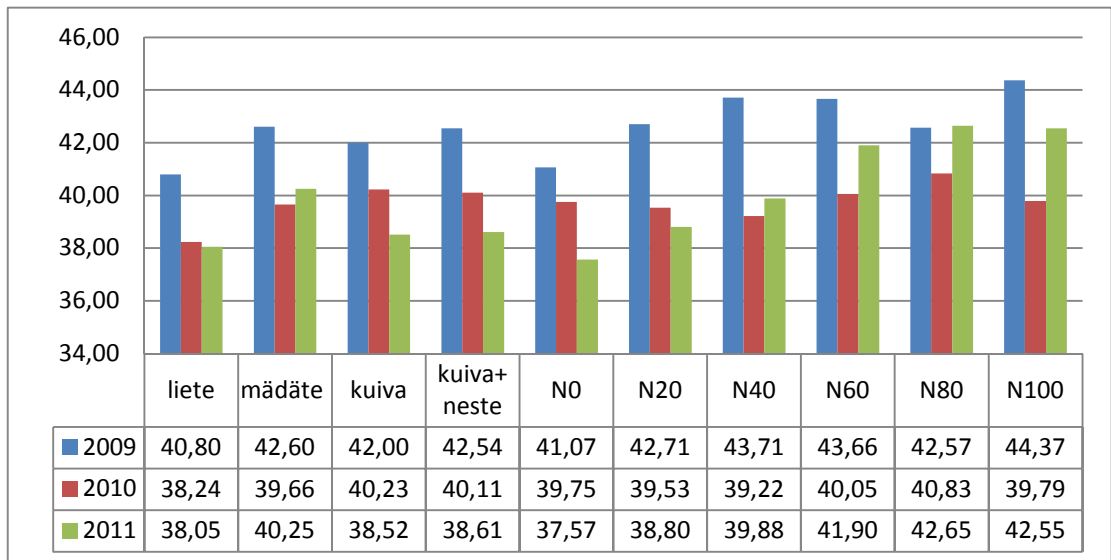


KUVIO 11. Kolmannen koevuoden sadot

Vuosi 2011 oli vuosien 2009-2011 heikoin vuosi virallisten lajikekokeiden satojen osalta, joiden tulokset ovat toistaiseksi julkaisemattomia. Tautisuutta oli viljoissa yleisesti runsaasti mutta biotila kokeella ei merkittävästi, joten se ei selittänyt vuoden 2011 heikkoa satoa.

Hehtolitrainot olivat riippuvaisempia satovuosien säistä kuin lannoitteista. Vuonna 2009 keskimääräinen hehtolitraino oli 63,7 kg, johon sekä mädätysjäännös että raakalanta ylsivät. Separoidut jakeet jäivät alle keskiarvon. 2010 keskimääräistä hehtolitrainoa 64,8 kg eivät saavuttaneet liete tai mädätysjäännös, sen sijaan separoidut ruudut ylittivät keskiarvon. Viimeisen koevuoden keskiarvo jäi 58,1 kg eikä mikään orgaanisista lannoitteista yltänyt edes siihen. Typpilannoitus näyttäisi nostavan hehtolitrainoja poikkeuksista huolimatta.

Tuhannen jyvän painot reagoivat selkeästi lannoitukseen. Mädätysjäännöksellä lannoitettu vilja tekee tasaista tulosta erottuen edukseen ja asettuen typpilannoitustasojen 40 kg/ha ja 60 kg/ha väliin. Erot raakalantaan näkyvät kuviosta 12. P-arvot vaihtelivat välillä 0,051-0,1 (ks. liitteet 1-3).



KUVIO 12. Tuhannen jyvän painot vuosivertailuna eri lannoitteilla

Ravinteiden sitoutuminen satoihin ja ravinnetaseet olivat myös tarkastelussa.

Ravinnetase tarkoittaa hyödyntämättä jäävää ravinnemäärää. Se lasketaan lannoitteissa annetun ravinnemäärän ja satoon sitoutuneen ravinnemäärän erotuksena. Taulukosta 4 käy ilmi kuinka alle 60 kg/ha typpilannoitetut ruudut ovat jääneet miinukselle. Näin ollen kasvi on ottanut enemmän ravinnetta, kuin on sitä lannoituksessa saanut. Nämä ravinteet ovat joko aikaisempina vuosina hyödyntämättä jääneitä ravinteita tai eliötoiminnan orgaanisesta aineksesta vapauttamia ravinteita.

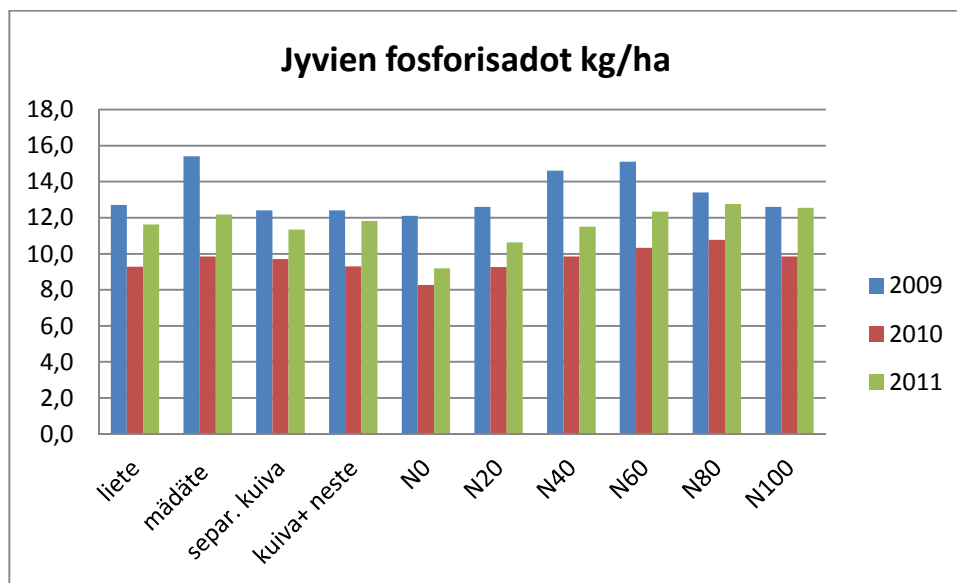
Mitä lähemmäksi pienempi luku, sitä tehokkaammin kasvi on käyttänyt hyödykseen sille annetut ravinteet. Tavoitteena on ettei maahan kerry pidemmällä aikavälillä runsasta tasetta jolloin riski niiden huuhtoutumiselle kasvaa. Vastaavasti maata ei voi pitkään viljellä miinus taseilla ettei se köyhy. Suurimmat taseet jäivät separoitu kuivajae + nestejaje oraille. Raakalannalla oli yhtä poikkeusta lukuun ottamatta pienemmät sadot ja suuremmat taseet kuin mädätysjäännöksellä. Väkilannoite typpi 80 kg/ha riitti suurillekin sadoille.

TAULUKKO 4. Eri lannoituksilla saavutetut jyvien N- ja P-sadot. Maaperän taseet typen ja fosforin osalta.

Käsittely	2009				2010				2011			
	sato kg/ha		tase kg/ha		sato kg/ha		tase kg/ha		sato kg/ha		tase kg/ha	
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
Raakalanta	59,6	12,7	15,4	3,3	48,9	9,3	43,0	1,4	61,3	11,6	103,9	12,6
Mädätysjäännös	72,7	15,4	-3,7	-1,4	50,6	9,8	41,2	5,2	66,7	12,2	75,1	7,4
Separoitu jäännös kuiva	-	-	-	-	50,4	9,7	72,8	5,0	60,6	11,3	59,4	11,1
Separoitu jäännös kuiva + neste oraille	59,0	12,4	31,0	7,6	46,4	9,3	104,3	14,9	61,3	11,8	103,7	22,6
Väkilannoite 0 N	57,8	12,1	-57,8	2,9	39,8	8,3	-39,8	6,7	48,1	9,2	-48,1	5,8
Väkilannoite 20 N	56,7	12,6	-36,7	2,4	46,7	9,3	-26,7	5,7	53,0	10,6	-33,0	4,4
Väkilannoite 40 N	70,4	14,6	-30,4	0,4	53,0	9,9	-13,0	5,1	61,2	11,5	-21,2	3,5
Väkilannoite 60 N	77,1	15,1	-17,2	-0,1	59,9	10,3	0,1	4,7	66,4	12,3	-6,4	2,7
Väkilannoite 80 N	74,4	13,4	5,6	1,6	64,7	10,8	15,3	4,2	70,7	12,8	9,3	2,2
Väkilannoite 100 N	70,8	12,6	29,2	2,4	63,8	9,8	36,2	5,2	72,7	12,6	27,3	2,4

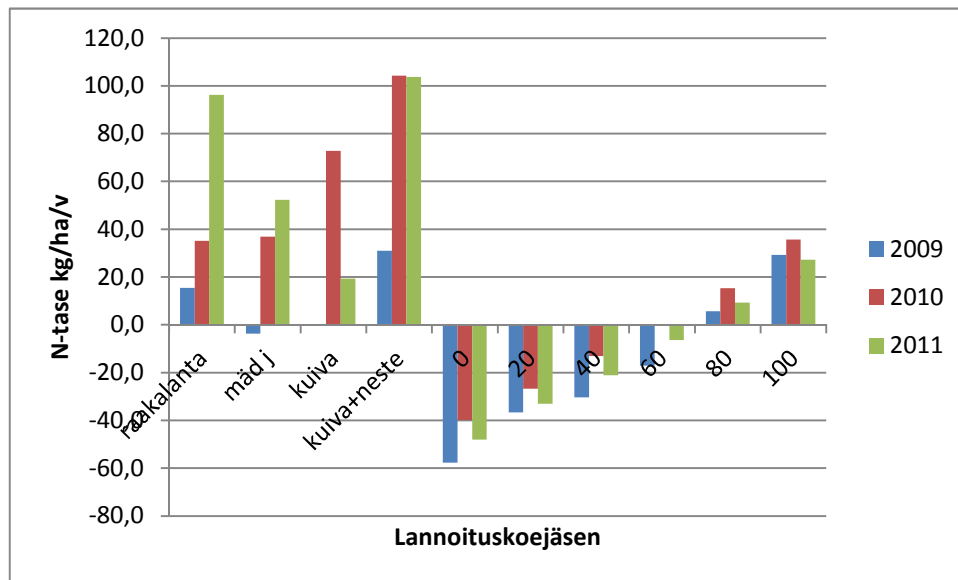


Fosforin kertyminen jyviin näkyy kuviosta 13. Jyvien tyyppi ja fosforisadot olivat hyvin samansuuntaiset, mikä viittaa siihen, että typen määrä rajoittaa myös fosforin sitoutumista satoon. Mädätteellä lannoitetun ohran tyyppi ja fosforipitoisuudet vastasivat lähes 60 kg:n väkilannoitetypen tasoa, muiden orgaanisten lannoitteiden jäädessä heikommiksi. Kuviosta tulee huomata että fosforimäärät on laskettu (sato kg/ha \* jyvän fosfori pitoisuus). Jyvien fosforipitoisuudet ovat niin pieniä, että sadolla on suurempi merkitys kuin yksittäisen jyvän fosforipitoisuudella.



KUVIO 13. Satoon sitoutunut fosfori eri lannoitteilla

Typen tasetta maaperässä kuvaa hyvin kuvio 14. Siinä näkyy, kuinka 0kg/ha typpeä saanut ruutu tuottaa satoa maaperään aiemmin jääneen typen ja mikrobien ansiosta hajonneen orgaanisen typen voimalla. Mädätysjäännöksen tase jäi orgaanisten lannoitteiden pienimmäksi, eli sen sisältämät ravinteet kasvi hyödynsi parhaiten. Väkilannoitteista 60 kg/ha on minimi jotta maa ei köyhtyisi. Taseiden perusteella 80 kg/ha on riittävä, koska kokeen aikana ohra ei hyödyntänyt enempää typpeä.



KUVIO 14. Typpitaset eri lannoitteilla

## 7 TULOSTEN SOVELTAMINEN KÄYTÄNTÖÖN

Kolmivuotisen kokeen perusteella voidaan todeta, että mädätysjäännöksellä saavutettiin viljelyllisiä hyötyjä raakalantaan verrattuna. Molemmat levitettiin sijoittamalla, mikä oli edellytys liukoisen typen lannoitevaikutuksen tutkimiselle. Mädätysjäännös oli juoksevaa ja tasalaatuista. Näin ollen sen levittäminen on helpompaa ja lannoitevaikutus tasainen.

Mädätysjäännöksellä saavutettiin keskimäärin liukoisen typen mukainen sato verrattaessa satoa väkilannoitteiden käyrään. Vuonna 2010 oli hyvin kuivaa, jolloin mädätysjäännöksellä saavutettu sato jäi hieman reilu 200 kg väkilannoitetta heikommaksi. Raakalantaan verrattuna oli mädätysjäännöksellä vuosittain saavutetut sadot hieman yli 300 kg suuremmat. Satoon sitoutuneet ravinnemäärät olivat mädätysjäännöksellä lannoitetuilla ruuduilla suurempia kuin raakalannalla lannoitetuilla. Tämä kertoo mädätysjäännöksen ravinteiden kasveille otollisemmasta muodosta.

Separointi ei sujunut aivan toivomusten mukaan, koska nesteosaan jäi runsaasti fosforia. Tällöin nesteosalla ei voida täyttää typentarvetta kokonaan. Kuivajae sisälsi fosforia kolminkertaisesti nestemäisiin jakeisiin nähden. Kuivajae olisi kannattavinta myydä lannoitteeksi, koska sen levittämiseen tarvittaisiin suuria peltoaloja. Näin ollen separoinnista aiheutuva kuljetuksellinen hyöty jäisi lyhytaikaiseksi. Separoidusta kuivaosasta tai kuivaosan ja myöhemmin levitetyn nesteosan yhdistelmästä ei näyttänyt olevan ohralle erityistä hyötyä. Sadot eivät vastanneet liukoisen typen määrää ja ravinteita jäi peltoon suuret määrät. Viljelyteknisesti kahden eri jakeen levittäminen on kallista.

Useissa tuloksissa, kuten sadoissa, tuhannen jyvän painoissa ja jyvien ravinnepitoisuuksissa mädätysjäännös asettui lannoitusvaikutukseltaan n. typpi 50 kg. Tämä tukee ajatusta että ohraa voitaisiin viljellä lannoittamalla n.35 tn/ha mädätysjäännöstä sijoittaen, josta vilja saisi samalla muitakin ravinteita. Lisänä hyvään satoon tarvittaisiin vain n. 30 kg typpilannoitus hehtaaria kohden. Levittäminen vaatisi kuitenkin mädätteen analysoinnin aina ennen levitystä, mikäli pyrittäisiin ravinnetaseiden kannalta optimiin.

## 8 POHDINTA

Kenttäkokeet onnistuivat hyvin ja antoivat lineaarisia tuloksia. Viljelyteknisesti jäi mietityttämään olisiko jotain voitu tehdä toisin. Lopputulos olisi voinut olla satojen kannalta toisenlainen, mikäli koe olisi tehty samalla kohdalla kaikki kolme vuotta. Silloin olisi ehkä nähty taseiden vaikutusta satoihin. Koe suoritettiin kahtena viimeisenä vuotena pellon reunassa, jossa sitä varjostivat puut päivän aikana. Sillä saattoi olla vaikutusta heikompiin satomääriin ja jyvien hitaampaan tuleentumiseen. Kuivuuteen ei peltoviljelyssä voitu vaikuttaa.

Lannoitteiden vaihtelevat liukoisen typen määrät saattoivat haitata vertailua. Mikäli kaikki orgaaniset lannoitteet olisi määritetty samaan liukoisen typen määrään, olisi lopputulos saattanut olla mädätteen kannalta vielä parempi. Orgaanisista lannoitteista mädätysjäännös sai vähiten liukoista typpeä kaikkina kolmena koevuonna. Teknisesti tämä olisi ollut hyvin vaikeaa, koska pääpaino oli lietteiden multauksessa ja koska tarkat liukoisen typen määrät ovat tiedossa, voidaan ne tarvittaessa laskennallisesti yhdentää.

Satotuloksia voidaan analysoida kahdelta kannalta. Kaasutuksen raaka-aineiden ja säiden vaikutus viljan kasvuun oli kiistämätön. Mikäli keskitytään kaasutusraaka-aineisiin, voidaan sanoa että 2009 levitetty makeistehtaan jätettä sisältänyt mädätysjäännös antoi parhaan tuloksen. Vuoden 2010 sipulijätettä sisältänyt mädäte sopisi heikoiten lannoitteeksi, vuoden 2011 ruokohelpeä sisältäneen mädätteen jäädessä näiden keskivaiheille.

Mikäli keskityttäisiin analysoimaan pelkästään säiden vaikutusta, voitaisiin sanoa että vuoden 2009 kasvupaikka ja sääolosuhteet olisivat olleet otollisimmat. Kuivuus vaivasi viljaa vuonna 2010 ja satojen perusteella voitaisiin vetää johtopäätös, etteivät orgaaniset lannoitteet ole väkilannoitteiden veroisia kuivana vuonna. 2011 oli tavallinen vuosi säiden osalta, vettä ja lämpöä riitti, mutta ilmeisesti pellon reuna ei ollut ohralle suotuisin kasvupaikka. Lopputulokseen vaikuttivat kuitenkin molemmat tekijät, jonka vuoksi mädätysjäännöksen lannoituskäytön tutkimista on hyvä jatkaa.

Nestefaasin levitys näkyi silmämääräisesti viljaoraassa tummempina raitoina, jolloin sen olisi luullut vaikuttavan myös satoihin edullisesti, mutta ilmeisesti sen sisältämä

typpi tuli jyvien kehityksen kannalta liian myöhään. Satoon olisi voinut vaikuttaa jos nestefaasi olisi ollut mahdollista sijoittaa oraaseen jolloin typen hävikki ei olisi yhtä suuri kuin pintalevityksessä.

Separointimenetelmiä on useita. Kokeessa oli käytössä ruuvikuivain joka puristaa massasta nesteen. Tämä on usein käytetty ja edullinen menetelmä. Muita separointimenetelmiä ovat linkous, rakeistaminen ym. kemialliset menetelmät.

Koe onnistui kokonaisuutena hyvin, ja siitä saatiin paljon tietoa mädätysjäänteen käyttöominaisuuksista. Mädätysjäänte erottui edukseen monella tavalla. Keskisadot olivat poikkeuksetta raakalannalla lannoitettuja ruutuja paremmat. Sadot sitoivat suurempia määriä ravinteita ja ohra pystyi hyödyntämään mädätteen sisältämän liukoisen typen raakalannan liukoista typpeä paremmin.

Biokaasulaitoksen mädätteen hyödyntäminen lannoitteena on osa suurempaa kokonaisuutta, joka hyödyttää ympäristöä ja säästää monella tapaa luonnonvaroja. Aihe on kiinnostava ja tarjoaa monia mahdollisuuksia ja tutkimuskohteita jatkossakin. Väkilannoitteiden korvaaminen mädätysjäännöksellä ja öljyn korvaaminen biokaasulla on Suomen oloissa toimiva yhdistelmä joka toivottavasti yleistyy tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

Alakukku, L., Jaakkola, A., Kari, M., Kleemola, J., Mäntylähti, V., Partanen, E., Peltonen, J., Puustinen, M., Savela, P., Sipiläinen, T., Tauriainen, S. & Yli-Halla, M. 2009. Ravinteet kasvintuotannossa. Tieto tuottamaan 127, Keuruu: Otava

Alakukku, L., Alasuutari, S., Hellstedt, M., Kari, M., Mattila, P., Mustonen, A., Paavola, T., Palva, R., Palojärvi, A., Partanen, K., Ruoho, O., Salo, T., Tolonen, K., Torniainen, M., Tuori, M., Turtola, E., Valaja, J. & Vuorio, K. 2009. Lannan käsittely ja käyttö. Tieto tuottamaan 128. Keuruu: Otava.

Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finstewalder, T., Volk, S. & Janssen, R. 2008. Biogas hanbook. Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg.

Anttonen, E. 2009. Luentomateriaali kurssilla perusrehut ja niiden tuottaminen.

Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E. 1992. Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo: WSOY.

Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2011. Suomen Biokaasulaitosrekisteri n:o 14. Joensuu: Kopijyvä Oy.

Joonas, J. 2008. Biokaasulaitosten mädätysjäänteissä on runsaasti käyttökelpoisia ravinteita. Käytännön Maamies 4/2008.

Kapuinen, P. 1996. Lannan levitys kasvustoon. Vihti: Maatalouden tutkimuskeskus.

Kapuinen, P. 2010. Lietetuotteiden käyttö ohran lannoitukseen. Maataloustieteenpäivät 2010. Posterit.

Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopisto.

Luostarinen, S., Logrén, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Paavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K. & Järvenpää, M. 2011. Lannan kestävä hyödyntäminen. Raportti 21 MTT.

Ohran kasvuohjelma. n.d. Viitattu 13.2.2012. [www.farmit.net](http://www.farmit.net): kasvinviljely, ohra.

Paavola, T. & Kuittinen, V. 2006. Maatilayrityksen bioenergian tuotanto. Tieto tuottamaan 115. Toim. H. Luoma & S. Peltonen. Keuruu: Otava.

Pohjola, P. 2011. Lannankäsittelyn ympäristövaikutukset ja niiden torjuminen. Koneviesti 3/2011.

Pyykkönen, V. Biokaasututkija MTT. 28.2.2012. Sähköposti tiedonanto.

Rehuohran lannoitus. n.d. [www.farmit.net](http://www.farmit.net): kasvinviljely, ohra, rehuohra, lannoitus. Viitattu 20.2.2012.

Virkajärvi, P. 2012. Erikoistutkija MTT 29.2.2012. Sähköposti tiedonanto.

## LIITTEET

Liite 1: Anova 2009

Kj	Lannoitus	Liete tn/ha	N-lannoitus		P- lann kg/ha	sato 15 kg/ha	SL	Sato(15%)	HLP	TJP	P g/kg ka	N g/kg ka	Psato kg/ha	Nsato kg/ha	Ptase kg/ha	Ntase kg/ha
			Kok.- N	Liuk. N												
1	Raakalanta	28,9	75	41	16	3485	101	3670	64,0	40,8	4,09	19,08	12,7	59,6	3,28	15,43
2	Mädätysjäännös	24,6	69	38	14	4237	123	4460	63,7	42,6	4,07	19,20	15,4	72,7	-1,43	-3,68
3	Separoitu jäännös kuiva osa					2729	79									
4	Separoitu kuiva osa+ neste oraille	3+27	90	47	20	3460	101	3650	63,0	42,5	4,04	19,08	12,4	59,0		30,97
5	Väkilannoite 0 N		0	0	15	3435	100	3610	63,4	41,1	3,95	18,79	12,1	57,8	2,89	-57,75
6	Väkilannoite 20 N		20	20	15	3394	99	3560	63,4	42,7	4,15	18,76	12,6	56,7	2,43	-36,66
7	Väkilannoite 40 N		40	40	15	4081	119	4290	63,8	43,7	4,02	19,42	14,6	70,4	0,42	-30,42
8	Väkilannoite 60 N		60	60	15	4362	127	4570	63,8	43,7	3,88	19,85	15,1	77,1	-0,07	-17,15
9	Väkilannoite 80 N		80	80	15	4008	117	4180	64,3	42,6	3,78	20,94	13,4	74,4	1,59	5,64
10	Väkilannoite 100 N		100	100	15	3743	109	3920	64,1	44,4	3,78	21,30	12,6	70,8	2,43	29,19
	SEM					317		337	0,3	0,7	0,11	0,25	1,1	5,2	1,10	5,22
	P-arvo					<b>&lt;0,0001</b>		<b>0,01</b>	0,2	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,006</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,001</b>	<b>0,0001</b>
	Raakalanta vs mädätysjäännös							<b>0,02</b>	0,6	0,06	0,9	0,7	<b>0,008</b>	<b>0,01</b>	<b>0,001</b>	<b>0,0007</b>
	Mädätysjäännös vs separoitu kuiva + neste							<b>0,01</b>	0,1	0,9	0,8	0,7	<b>0,003</b>	<b>0,01</b>	<b>0,001</b>	<b>0,0001</b>
	Raakalanta vs separoitu kuiva + neste							0,93	<b>0,04</b>	0,06	0,7	0,98	0,7	0,9	<b>0,001</b>	<b>0,004</b>



## Liite 2: Anova 2010

Kj	Lannoitus	Liete	N-lann				Sato (15%)	SL	HLP	TJP	N	P	Nsato	Psato	Ntase	Ptase
			Kok. N	Liuk. N	P- lann	K- lann										
		tn/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg ka/ha				g/kg ka	g/kg ka	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
1	Raakalanta	38,3	92	57,5	11	69	2585	115	64,6	38,3	22,3	4,23	48,9	9,3	43,0	1,4
2	Mädätysjäännös	36,7	92	55,1	15	106	2681	120	64,4	39,7	22,2	4,33	50,6	9,8	41,2	5,2
3	Separoitu jäännös kuiva	16	123	61	15	40	2602	116	64,9	40,2	22,7	4,40	50,4	9,7	72,8	5,0
4	Separoitu kuiva + neste oraille	41	151	61	24	118	2461	110	64,8	40,1	22,2	4,45	46,4	9,3	104,3	14,9
5	Väkilannoite		0	0	15	60	2241	100	65,7	39,8	20,9	4,35	39,8	8,3	-39,8	6,7
6	Väkilannoite		20	20	15	60	2536	113	65,4	39,5	21,7	4,30	46,7	9,3	-26,7	5,7
7	Väkilannoite		40	40	15	60	2808	125	64,4	39,2	22,2	4,13	53,0	9,9	-13,0	5,1
8	Väkilannoite		60	60	15	60	2970	133	64,6	40,0	23,7	4,10	59,9	10,3	0,1	4,7
9	Väkilannoite		80	80	15	60	3207	143	65,0	40,8	23,8	3,95	64,7	10,8	15,3	4,2
10	Väkilannoite		100	100	15	60	3071	137	64,7	39,6	24,4	3,77	63,8	9,8	36,2	5,2
<b>Keskimäär.</b>							<b>2716</b>		<b>64,8</b>	<b>48,1</b>	<b>22,6</b>	<b>4,20</b>	<b>52,4</b>	<b>9,6</b>	<b>23,3</b>	<b>5,8</b>
<b>SEM</b>							118,7		0,24	1,57	0,54	0,09	3,17	0,43	3,2	0,43
							<b>&lt;0.001</b>		<b>&lt;0.001</b>	<b>0,032</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0,008</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>
<b>P-arvo</b>																
Raakalanta vs mädätysjäännös							0,5		0,4	0,6	0,8	0,3	0,6	0,3	0,62	<b>&lt;0.001</b>
Mädätysjäännös vs separoitu kuiva + neste							0,1		0,1	0,5	1,0	0,2	0,3	0,3	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>
Raakalanta vs separoitu kuiva + neste							0,4		0,4	0,9	0,9	<b>0,023</b>	0,5	1,0	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>
Raakalanta vs Separoitu kuiva							0,9		0,2	0,7	0,4	0,1	0,7	0,4	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>
Mädätysjäännös vs Separoitu kuiva							0,6		<b>0,038</b>	0,9	0,3	0,4	1,0	0,8	<b>&lt;0.001</b>	0,76
Separoitu kuiva vs Separoitu kuiva + neste							0,3		0,7	0,6	0,3	0,6	0,3	0,4	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>

## Liite 3: Avova 2011

Kj	Lannoitus	Liete	N-lann				Sato (15%)	SL	HLP	TJP	N	P	Nsato	Psato	Ntase	Ptase
			Kok. N	Liuk. N	P- lann	K- lann										
		tn/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg ka/ha				g/kg ka	g/kg ka	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
1	Raakalanta	35	165	80,7	24	125	2820	125	57,2	38,0	25,6	4,9	61,3	11,6	104	12,6
2	Mädätysjäännös	35	142	50	20	159	3052	135	57,5	40,2	25,7	4,7	66,7	12,2	75	7,4
3	Separoitu jäännös kuiva	16	120	64	22	56	2841	126	57,5	38,5	25,1	4,7	60,6	11,3	59	11,1
4	Separoitu kuiva + neste oraille	16+25	165	57	34	149	2826	125	57,8	38,6	25,5	4,9	61,3	11,8	104	22,6
5	Väkilannoite		0	0	15	60	2255	100	56,8	37,6	25,1	4,8	48,1	9,2	-48	5,8
6	Väkilannoite		20	20	15	60	2605	116	57,8	38,8	23,9	4,8	53,0	10,6	-33	4,4
7	Väkilannoite		40	40	15	60	2911	129	58,9	39,9	24,7	4,7	61,2	11,5	-21	3,5
8	Väkilannoite		60	60	15	60	3122	138	58,9	41,9	25,0	4,7	66,4	12,3	-6	2,7
9	Väkilannoite		80	80	15	60	3287	146	59,4	42,6	25,3	4,6	70,7	12,8	9	2,2
10	Väkilannoite		100	100	15	60	3300	146	59,4	42,5	25,9	4,5	72,7	12,6	27	2,4
<b>Keskimäärin</b>							<b>2902</b>		<b>58,1</b>	<b>39,9</b>	<b>25,2</b>	<b>4,7</b>	<b>62,2</b>	<b>11,6</b>	<b>27,0</b>	<b>7,5</b>
<b>SEM</b>							126,4		0,27	0,83	0,39	0,06	3,35	0,49	3,3	0,49
							<b>&lt;0.001</b>		<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0,001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>
<b>P-arvo</b>																
Raakalanta vs mädätysjäännös							0,13		0,36	0,051	0,74	0,066	0,12	0,38	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>
Mädätysjäännös vs separoitu kuiva + neste							0,14		0,58	0,14	0,55	<b>0,008</b>	0,12	0,57	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>
Raakalanta vs separoitu kuiva + neste							0,96		0,15	0,61	0,79	0,35	0,99	0,75	0,96	<b>&lt;0.001</b>
Raakalanta vs Separoitu kuiva							0,88		0,36	0,67	0,19	0,066	0,84	0,62	<b>&lt;0.001</b>	<b>0,018</b>
Mädätysjäännös vs Separoitu kuiva							0,16		1,00	0,12	0,11	1,00	0,079	0,17	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>
Separoitu kuiva vs Separoitu kuiva + neste							0,92		0,58	0,93	0,30	<b>0,008</b>	0,84	0,42	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>