



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 37/2016

## Biokaasuteknologiaa maatiloilla II

Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen hyödyntäminen lannoitteena

Perttu Virkajärvi, Maarit Hyrkäs, Mari Rätty, Terhi Pakarinen,  
Ville Pyykkönen ja Sari Luostarinen

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2016

# Biokaasuteknologiaa maataloilla II

Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen  
hyödyntäminen lannoitteena

Perttu Virkajärvi, Maarit Hyrkäs, Mari Rätty, Terhi Pakarinen, Ville Pyykkönen ja  
Sari Luostarinen

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2016



ISBN: 978-952-326-265-2 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-266-9 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-266-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Perttu Virkajärvi, Maarit Hyrkäs, Mari Rätty, Terhi Pakarinen, Ville Pyykkönen ja Sari Luostarinen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2016

Julkaisuvuosi: 2016

Kannen kuva: Perttu Virkajärvi / Luke

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

# Tiivistelmä

Perttu Virkajärvi<sup>1</sup>, Maarit Hyrkäs<sup>1</sup>, Mari Rätty<sup>1</sup>, Terhi Pakarinen<sup>2</sup>, Ville Pyykkönen<sup>3</sup> ja Sari Luostarinen<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Luonnonvarakeskus (Luke), Vihreä teknologia, Halolantie 31 A, 71750 Maaninka, etunimi.sukunimi@luke.fi

<sup>2</sup> Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Tuumalantie 17, 43100 Saarijärvi

<sup>3</sup> Luonnonvarakeskus (Luke), Uudet liiketoimintamahdollisuudet, Halolantie 31 A, 71750 Maaninka, etunimi.sukunimi@luke.fi

<sup>4</sup> Luonnonvarakeskus (Luke), Uudet liiketoimintamahdollisuudet, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, etunimi.sukunimi@luke.fi

Biokaasuprosessin vaikutukset naudan lietalannan ominaisuuksiin:

- Käsittelyjäännöksen typen käyttökelpoisuus nousi raakalantaan verrattuna ohranviljelyssä, vaikka lieteanalyysissä liukoisen typen pitoisuus ei noussut ja liukoisen typen osuuden nousua ei voitu osoittaa. Käsittelyjäännöksen liukoinen tyyppi oli ohran lannoitteena täysin väkilannoitetyypen veroista, kun raakalannan tyyppi vastasi 85-prosenttisesti väkilannoitetyypää. Nurmenviljelyssä raakalannan ja käsittelyjäännöksen typen käyttökelpoisuus oli samaa tasoa.
- Käsittelyjäännöksen fosforin käyttökelpoisuus oli korkeampi kuin raakalannan sekä ohran että nurmenviljelyssä.
- Biokaasukäsittelyn edullinen vaikutus typen ja fosforin hyväksikäyttöön näkyi käsittelyjäännöksen raakalantaa pienempänä typen ja fosforin ylijäämänä.
- Käsittelyjäännös oli tasalaatuisempaa ja juoksevampaa kuin raakalanta ja sen ravinnepitoisuuden vaihtelu oli pienempää kuin raakalannan.
- Käsittelyjäännös koettiin teknisesti raakalantaa helpompikäyttöiseksi ja sen hajuhaitat vähäisemmiksi.
- Käsittelyjäännöksen pH oli korkeampi kuin raakalannan, mutta tällä ei ollut vaikutusta maan pH-arvoon.
- Riippumatta siitä, rajoittaako lannan levitystä kokonaistyyppi (nitraattiasetus) vai pellon fosforiluokka, pystyy käsittelyjäännöstä käyttämällä levittämään kerta-annoksena hieman (7 %) enemmän liukoista tyyppiä hehtaarille.

Kotieläintalouden tuotantoyksikkökoon kasvu ja tilojen keskittyminen tietyille alueille ovat johtaneet tilalla syntyvän lantamäärän kasvuun sekä lannan alueelliseen ja paikalliseen keskittymiseen. Nautakarjatiloiilla tilan hallinnassa olevat pellot riittävät yleensä vastaanottamaan tuotetun lannan, mutta suurissa eläinyksiköissä lannan kuljetus kauaksi tilakeskuksesta aiheuttaa lisätyötä ja -kustannuksia. Joissain tapauksissa tilan omat pellot eivät riitä vastaanottamaan syntyvää lantamäärää. Lisämaan hankkiminen tai vastaanottosopimukset naapuritilojen kanssa mahdollistavat lannan levittämisen suuremmalle peltopinta-alalle, mutta lisää usein samalla kuljetustarvetta. Lannan tehokkaampi hyödyntäminen prosessoinnin avulla voi nostaa lopputuotteiden lannoitearvoa ja tuottaa myös uusiutuvaa energiaa. Esimerkiksi mekaaninen ja kemiallinen separointi sekä lannan anaerobinen hajotus biokaasulaitoksissa voivat tehdä lannan kuljettamisesta kauemmaksi taloudellisesti kannattavaa ja siten lisätä lannan käytettävyyttä peltolannoituksessa. Lannan sisältämien ravinteiden ja energian tehokas hyväksikäyttö on edellytyksenä niin kestäväälle elintarviketuotannolle kuin maatalouden ravinnekuormituksen vähentämiselle.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää naudan lietalannan, tilakohtaisen biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen ja käsittelyjäännöksestä separoitujen neste- ja kuivajakeiden käyttöarvoa nurmen ja ohran tuotannossa verrattuna väkilannoitetyypen. Laajemmin tavoite oli saada lisää tutkittua tietoa orgaanisten, lantapohjaisten lannoitteiden mahdollisuuksista ravinteiden kierron tehosta-

misessa ja väkilannoitteiden korvaajana tilakohtaisissa ratkaisuissa. Tutkimus oli osa laajempaa 'Biokaasuteknologian käyttöönoton edistäminen Pohjois-Savossa' -hanketta, jonka ensimmäinen osaraportti julkaistiin MTT Raporttina 113.

Nurmen ja ohran kenttäkokeet toteutettiin kahtena erillisenä lohkoittain satunnaistettuna koikeena Luonnonvarakeskus (Luke) Maaningalla (silloinen MTT Maaninka) vuosina 2009–2012. Molemmissa kokeissa tutkittiin raakalannan, biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen ja jäännöksestä separoitujen neste- ja kuivajakeiden lannoitusvaikutusta. Jakeet annettiin koeruuduille eri tavoin riippuen kasvilajista. Nurmikoe oli nelivuotinen sisältäen perustamisvuoden suojaviljan (ohra), kun taas ohrakokeen tulokset ovat kolmelta vuodelta.

Raakalanta ja käsittelyjännös sijoitettiin 5–7 cm syvyyteen. Jäännöksestä separoidut kuiva- ja nestejakeet levitettiin käsin pintaan ja kuivajakeet mullattiin äestämällä. Orgaaniset lannoitteet annettiin ohralle keväällä ja nurmelle toiselle sadolle. Nurmi niitettiin aina kahdesti kesässä. Lisäksi kokeessa oli kuusi erilaista väkilannoitteena annettua typpitasoa. Niiden avulla muodostettiin typen sato- ja ravintofunktiot, joihin orgaanisten lannoitteiden typen hyväksikäyttöä verrattiin. Syksyisin otettiin maanäytteenä kolmesta eri syvyydestä.

Ohrakokeessa käsittelyjäännöksellä saatiin yhtä suuret sadot kuin vastaavalla liukoisen typen määrällä väkilannoitteessa, paitsi kuivana vuonna 2010, jolloin sato oli 10 % alhaisempi. Raakalannalla sadon määrä oli vain 85 % väkilannoitteeseen verrattuna. Separoinnista ja jakeiden käytöstä ei näyttänyt olevan ohralle erityistä hyötyä.

Nurmikokeessa kuivuus aiheutti suuremman eron typen hyväksikäytössä kuin biokaasuprosessi tai separointi: kuivana vuonna raakalanta ja käsittelyjännös tuottivat selkeästi väkilannoitetta heikomman tuloksen, mutta nestejakeella vastaavaa eroa ei havaittu. Raakalannalla ja käsittelyjäännöksellä ei ollut eroa lannoitusvaikutuksessa.

Ohralla typen taseet olivat pääasiassa positiivisia, ja käsittelyjäännöksen tase oli raakalantaa alhaisempi kahtena vuonna. Ohra ei siis käyttänyt kaikkea sille annettua typpeä, mutta käsittelyjäännöksen tyyppi oli paremmin hyödynnettävissä kuin raakalannan. Nurmella ensimmäisen sadon taseet olivat tyyppillisesti negatiivisia, eli nurmi otti typpeä enemmän kuin sille väkilannoitteena annettiin. Tämä vaikutti myös kokonaissadon taseisiin. Nurmi hyödynsi käsittelyjäännöksen typen raakalannan typpeä tehokkaammin ainoastaan vuonna 2012, jolloin käsittelyjäännöksen liukoisen typen osuus kokonaistyppestä oli suurempi kuin raakalannalla. Nestejakeella lannoitetut ruudut saivat enemmän kokonaistyppeä kuin muut koejäsenet, mikä näkyi positiivisina taseina joka vuosi. Myös fosforitaseet poikkesivat selvästi kasvilajien välillä.

Ohralla fosforitase oli lähes aina positiivinen, myös väkilannoiteruuduilla, kun nurmella fosforin vuositase oli lähes poikkeuksetta negatiivinen. Biokaasuprosessi paransi fosforin näennäistä hyväksikäyttöä sekä ohra- että nurmikokeessa. Sekä raakalannan että käsittelyjäännöksen käytön vaikutus maan viljavuusfosforin pitoisuuteen oli pienehkö, mutta käsittelyjäännöksen käyttö nosti maan viljavuusfosforin pitoisuutta suhteessa raakalannan käyttöön. Todennäköinen syy tähän on biokaasuprosessin aiheuttamat muutokset lietelannan orgaanisen aineksen koostumuksessa, mikä vaikuttaa kilpailuun maan fosforinpidätyspaikoista.

Orgaanisten lannoitteiden lannoitusvaikutus, ravintotaseet sekä maaperän typpikierto ovat selvästi erilaisia nurmenviljelyssä kuin viljanviljelyssä. Tämä selittyy pääosin viljelytekniikan eroilla (mm. lannoitus- ja korjuukertojen määrät, jyvien tai koko kasvuston korjuu) sekä kasvien erilaisella ravinteidenottokyvyllä. Näiden kokeiden perusteella käsittelyjäännöksen edut, etenkin typen ja fosforin käyttökelpoisuuden parantuminen suhteessa karjanlantaan tulevat selvemmin esiin ohran- kuin nurmenviljelyssä.

Avainsanat: biokaasu, karjanlanta, käsittelyjäännös, nurmet, ohra, orgaaniset lannoitteet, ravintotase, separointi

## Abstract

- Plant-availability of nitrogen was higher in digestate than in raw manure when cultivating oat, even though no increase in soluble nitrogen was detected in manure analysis. The soluble nitrogen in digestate was as effective in oat cultivation as mineral fertilizer, while that of raw manure was 85% of mineral fertilizer. In grass cultivation nitrogen plant-availability of digestate and raw manure were similar.
- Plant-availability of phosphorus was higher in digestate than in raw manure with both oat and grass cultivation.
- The improved nitrogen and phosphorus uptake when using digestate was also shown as less excess of nitrogen and phosphorus than when using raw manure.
- Digestate was more homogeneous and fluid compared to raw manure and its nutrient content more stable.
- Digestate was technically easier to handle and the research group found its odour less foul than that of raw manure.
- Digestate pH was higher than with raw manure but this had no effect on soil pH.
- Regardless of the limiting factor in manure fertilization (manure/digestate total nitrogen or soil phosphorus), digestate allowed for a slightly higher dose of soluble nitrogen (7%) per hectare.

Increasing unit size of animal husbandry and its concentration into certain regions have led to increasing amount of manure per farm and regional concentration of manure. On dairy and beef farms the field area *per se* is not typically restricting manure use because forage area is in proportion to number of animals. On large units, however, the distances to fields increase and thus transportation of slurry to distant paddocks severely increases transportation costs. In addition, in some cases the field area of one farm may no longer be large enough for manure utilization. To ensure sufficient area for spreading, the farms have had to either increase its field area or hand out manure to neighboring farms. Manure processing, such as mechanical and chemical separation and anaerobic digestion in biogas plants may provide profitable solutions for transporting manure to further distances and thus improve manure utilization in fertilization. Efficient use of manure energy and nutrient content is a prerequisite for sustainable food production and decreasing agricultural nutrient load to the environment.

The aim of this study was to find out the fertilizing value of cattle slurry, digestate from a farm-scale biogas plant and the separated solid and liquid fraction of the digestate in barley and grass production. The use of these organic fertilizers was also compared to that of mineral fertilizers. The aim was also to increase empirical data on the possibilities of organic fertilizers for enhancing manure utilization and replacing mineral fertilizers in farm-scale solutions.

The field experiments with barley and grass were performed as two separate and randomized complete block design experiments in Luke Maaninka research station during 2009–2012. Both experiments studied the fertilizing effect of raw slurry, digestate and separated solid and liquid fractions of digestate. The different organic fertilizers were spread to the field plots dependent on the plant species. The experiment of grass silage took four years including the whole crop (barley) in the establishment year, while the results of the barley experiment are from three years.

Both slurry and digestate were injected into the depth of 5–7 cm with a plot-sized slurry spreader. Fractions were spread to the surface of soil by hand and solid fraction was mixed in to the soil by harrowing. Organic fertilizers were spread for the barley in the spring and for the grass after the first harvest. During the production years, the grass was harvested twice at silage stage. In addition, the experiments included six levels of mineral N application to calculate N fertilizer replacement value

for soluble N fraction of the organic fertilizers. Soil samples (depths of 0–2 cm, 2–10 cm and 10–25 cm) were taken in each autumn.

In the barley experiment, digestate gave similar yields as comparable dose of mineral soluble nitrogen (N), except in the dry year of 2010, when the yield was 10% lower. Raw slurry yielded only 85% of the yield from digestate. Separation and use of the fractions did not show particular benefits for barley.

In the grass experiment, drought caused a larger difference in N uptake than the use of digestate or separated digestate: in the dry year, raw manure and digestate gave significantly lower yields than mineral fertilizer. However, when using the liquid fraction of digestate no such effect was noticed. Raw manure and digestate did not differ in fertilizing effect.

With barley, N balance was mostly positive i.e. the N removal in harvested crop was lower than input N as slurry and fertilizers. The N balance of digestate was lower than that of raw slurry in two of the studied years. With grass, the N balances of the first cut were usually negative, which led to negative annual balances. On the grass plots, digestate produced a lower N balance than raw slurry only in 2012, when its proportion of soluble nitrogen of total nitrogen content was higher than that of raw slurry. The plots fertilized with liquid fraction of digestate received a higher dose of total N than the other plots, which was also seen as positive balances each year. Also the P balances differed significantly between the plant species. With barley, the P balance was almost always positive, as with mineral fertilizers, while with grass, it was nearly without exception negative.

The fertilizing effect, nutrient balances and soil nitrogen cycle of organic fertilizers are clearly different in grass production than in cereal cultivation. This is mostly explained by differences in cultivation methods (e.g. amount of fertilizing and harvesting times, harvesting the grains or the entire biomass) and by different nutrient uptake ability of the plants. According to this study, the benefits of using digestate are clearer for barley cultivation than for grass production.

Keywords: barley, biogas, digestate, grass leys, nutrient balance, manures, separation methods

## Alkusanat

Tämä raportti on toinen osa raporttiparista, joista ensimmäinen osa (**Biokaasuteknologiaa maataloil- la I, MTT Raportti 113**) kokosi Luonnonvarakeskus (Luke) Maanigan, silloisen MTT Maanigan toimipisteen maatilakohtaisen biokaasulaitoksen hankintaan, käyttöönottoon ja operointiin liittyvät kokemukset sekä laitoksen kahden ensimmäisen operointivuoden aikana kerätyn tutkimustiedon. Tässä raportissa esitellään vuosina 2009–2012 toteutettujen nurmen ja ohran kenttäkokeiden tulokset. Kokeissa tutkittiin naudan lietelannan, tilakohtaisen biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen ja käsittelyjäännöksestä separoitujen kuiva- ja nestejakeiden lannoitusvaikutusta väkilannoitetyyppeen verrattuna. Toivomme, että raporttipari toimii hyvänä lähtökohtana maatalojen biokaasulaitoksia suunnitteleville, operoiville ja valvoville tahoille varmistaa laitoksen tehokas toiminta ja kaikkien biokaasuprosessin etujen hyödyntäminen.

Raportoitu työ tehtiin pääosin 'Biokaasuteknologian käyttöönoton edistäminen Pohjois-Savossa' eli BIOTILA-hankkeessa. Hanketta rahoittivat Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahasto (Pohjois-Savon ELY-keskus), muutamat pohjoissavolaiset kunnat sekä MTT vuosina 2008–2012. Viimeisenä nurmivuonna 2012 kenttakoetta rahoitettiin MTT:n varoin 'Nurmen tuotannon ja biokaasuteknologian tehokas ja kestävä integrointi' (ValueGrass) -hankkeessa. Kiitämme Luke Maanigan kenttäkoepuolen henkilökuntaa, tutkimusmestareita, tutkimusapulaisia ja kesätyöntekijöitä kokeiden käytännön toteutuksesta. Lisäksi kiitämme kaikkia työhön osallistuneita kumppaneita, rahoittajia, hankkeen ohjausryhmää sekä lukuisia sidosryhmäläisiä viljelijöistä viranomaisiin hyvästä yhteistyöstä.

Elokuussa 2016

Tekijät



# Sisällys

<b>Tiivistelmä .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>5</b>
<b>Alkusanat.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Johdanto .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Aineisto ja menetelmät .....</b>	<b>13</b>
2.1. Lietelannan käsittely .....	13
2.2. Ohrakokeen perustaminen ja hoito.....	14
2.3. Nurmikokeen perustaminen ja hoito.....	16
2.4. Maanäytteet .....	18
2.5. Tilastomenetelmät.....	19
<b>3. Tulokset ja tulosten tarkastelu .....</b>	<b>20</b>
3.1. Kasvukausien 2009–2012 lämpötila, sademäärä, maan lämpötila ja kosteus.....	20
3.2. Koemaiden ominaisuudet .....	24
3.3. Lietelannan ja käsittelyjäännöksen ominaisuudet.....	25
3.4. Ohrakokeen satotulokset.....	30
3.5. Ohrakokeen ravinnetaseet .....	40
3.6. Nurmikokeen satotulokset.....	44
3.7. Nurmikokeen ravinnetaseet .....	56
3.8. Ohrakokeen maa-analyysit .....	68
3.8.1. Muokkauskerroksen viljavuusfosforin ja -kaliumin pitoisuudet .....	68
3.8.2. Muokkauskerroksen liukoinen epäorgaaninen ja orgaaninen typpi.....	70
3.9. Nurmikokeen maa-analyysit .....	83
3.9.1. Muokkauskerroksen viljavuusfosforin, -kaliumin ja -rikin pitoisuudet .....	83
3.9.2. Muokkauskerroksen liukoinen epäorgaaninen ja orgaaninen typpi.....	86
<b>4. Yhteenveto.....</b>	<b>103</b>
4.1. Biokaasutusprosessin ja separoinnin vaikutus lannoitteiden ominaisuuksiin .....	103
4.2. Orgaanisten lannoitteiden satovasteet ja ravinnetaseet ohran viljelyssä .....	104
4.3. Orgaanisten lannoitteiden satovasteet ja ravinnetaseet nurmen viljelyssä.....	104
4.4. Ravinteiden hyväksikäyttö ja muutokset maaperässä.....	106
4.5. Biokaasutusprosessin vaikutukset naudan lietalannan ominaisuuksiin .....	110
<b>Kirjallisuus .....</b>	<b>111</b>

# 1. Johdanto

Kotieläintalouden tuotantoyksikkökoon kasvu ja tilojen keskittyminen tietyille alueille ovat johtaneet tilalla syntyvän lantamäärän kasvuun sekä myös lannan alueelliseen ja paikalliseen keskittymiseen. Nautakarjatilalla tilan hallinnassa olevat pellot riittävät yleensä vastaanottamaan tuotetun lannan, mutta suurissa eläinyksiköissä lannan kuljetus kauemmaksi tilakeskuksesta aiheuttaa lisätyötä ja -kustannuksia. Joissakin tapauksissa tilan omat pellot eivät riitä vastaanottamaan syntyvää lantamäärää, jolloin perusratkaisuna lisämaan hankkiminen tai vastaanottosopimukset naapuritilojen kanssa ovat mahdollistaneet lannan levittämisen suuremmalle peltopinta-alalle. Lannan sisältämien ravinteiden ja energian tehokas hyväksikäyttö on edellytyksenä niin kestäväälle elintarviketuotannolle kuin maatalouden ravinnekupermituksen vähentämiselle. Lantaravinteiden hyötykäytön lisäämisessä keskeiseksi kysymykseksi on noussut lantalogistiikan kehittäminen (sisältäen mm. kuljetuksen, levityksen ja sen oikea-aikaisuuden) siten, että lanta voidaan levittää riittävän suurelle peltoalalle kustannusten pysyessä kohtuullisina.

Lannan prosessointi voi tehostaa lannan hyödynnettävyyttä peltolannoituksessa. Se vaikuttaa lannan ravinteiden pitoisuuksiin, niiden liukoisuuteen, käyttökelpoisuuteen kasveille ja siten myös lannoitusarvoon. Koska erilaiset prosessit vaikuttavat lantaan eri tavoin, on lannan prosessointia suunniteltaessa tärkeää pohtia mitä tavoitellaan ja valita prosessi sen mukaisesti.

Biokaasuprosessi on biologinen käsittelymenetelmä, jossa hyödynnetään ravinteiden lisäksi myös lannan sisältämä energiapotentiaali. Lanta hajotetaan mikrobiologisesti hapettomissa (anaerobisissa) olosuhteissa, jolloin lopputuotteina syntyy ravinnerikasta käsittelyjäännöstä ja biokaasua, pääosin metaania ja hiilidioksidia sisältävää kaasuseosta. Käsittelyjäännos voidaan edelleen hyödyntää peltoviljelykäytössä ja biokaasu taas lämpönä, sähköinä ja/tai biometaaniksi puhdistettuna liikennepolttoaineena (Luostarinen ym. 2011, Luostarinen & Pyykkönen 2013). Käsittelyjäänöksessä on raaka-aineitaan enemmän kasveille suoraan käyttökelpoista ammoniumtyyppiä, jota muodostuu prosessissa orgaanisen typen hajotessa. Tämä voi lisätä jäänöksen lannoitearvoa verrattuna raakalantaan. Lisäksi biokaasuprosessissa voidaan käsitellä yhdessä lannan kanssa myös muita orgaanisia jätteitä ja sivutuotteita. Maatilojen kasvibiomassat sisältävät yleensä lantaa enemmän energiaa, jolloin laitoksen energiantuotto ja täten siitä saatavat taloudelliset ja ympäristölliset hyödyt kasvavat. Samalla kasvien sisältämät ravinteet lisäävät käsittelyjäänöksen ravinnepitoisuutta, erityisesti typen osalta. Tämä korjaa jäänöksen fosfori-tyyppisuhdetta kasveille käyttökelpoisemmaksi ja voi täten edelleen vähentää väkilannoitteiden tarvetta tilalla. Lannan ja kasvijätteiden hallittu hyödyntäminen vähentää myös niistä muodostuvia päästöjä.

Separointiin (jakeistus) pohjautuvilla fysikaalisilla menetelmillä ja saostukseen pohjautuvilla kemiallisilla menetelmillä pyritään puolestaan yleensä konsentroimaan lannan fosfori kiintoaineeseen ja tyyppi erotettuun nestejakeeseen sekä vähentämään kuljetettavan lieteseoksen sisältämän veden määrää. Tyypipitoinen nestejake voidaan esimerkiksi levittää tilan lähellä oleville pelloille ja fosforipitoinen kuivajake kuljettaa kauempana sijaitseville peltolohkoille (Luostarinen ym. 2011). Separointiin on käytössä useita erilaisia menetelmiä, joilla saavutetaan hyvinkin erilaisia lopputuloksia. Yleisesti separointiin käytetyllä ruuvipuristimella saadaan tehokkaasti erotettua kiintoainetta kuivajakeeseen, mutta fosforin erottamisessa se ei ole erityisen tehokas. Linkoamista flokkulaatiota ja/tai saostumista edistävien kemikaalien kanssa on pidetty fosforin erottamisessa kuivajakeeseen tehokkaimpana menetelmänä.

Lannan prosessoinnin valinnassa olennaista on tuntee käsiteltävän lannan ominaisuudet, kuten ravinnepitoisuudet, mutta myös ravinteiden liukoisuus ja biologinen käyttökelpoisuus kasveille. Lantaperäisen fosforin liukoisuus säätelee sen lannoitusvaikutusta ja potentiaalista huuhtoutumisherkyyttä. Kotieläinten lanta sisältää fosforia sekä helppoliukoisessa että vaikealiukoisessa epäorgaanisessa ja orgaanisessa muodossa. Syynä ravinnepitoisuuksien ja liukoisuuden vaihteluun eläinlajeittain ovat erot rehun koostumuksessa, eläinten ruuansulatuksessa, eläinsuojissa käytetyssä kuivikkeessa sekä lannan keruun ja varastoinnin menetelmissä. Sharpleyn & Moyerin (2000) tutkimuksessa lannan

kokonaisfosforipitoisuus vaihteli eläin- ja lantalajista riippuen välillä 1,5–39 g/kg, ja se oli pääosin epäorgaanisessa muodossa (63–92 %). Naudanlannan kokonaisfosforipitoisuus kasvaa kuiva-ainepitoisuuden kasvaessa (virtsa < lietelanta < kuivikelanta), kun kuiva-ainepitoisuus on lantatyypistä riippuen keskimäärin 1,8–23 % ja kokonaisfosforipitoisuus 0,1–1,4 kg/t (Viljavuuspalvelu Oy 2016). Valtaosa naudanlannan sisältämästä kokonaisfosforista on epäorgaanista fosforia (75–80 %), ja sen osuus nousee dieetin kokonaisfosforipitoisuuden noustessa (Whitehead 2000, He ym. 2004). Lypsy-lehmien ruokintakokeiden tulokset osoittavat, että kokonaisfosforipitoisuuden lisäksi rehun koostumus vaikuttaa naudanlantafosforin liukoisuuteen. Dieetistä riippuen sonnan fosforista oli vesiliukoisessa muodossa 32–77 % Hedleyn -fosforifraktioiden yhteenlasketusta fosforipitoisuudesta (4–10 g/kg ka) (Salo ym. 2011). Ylivainio & Turtola (2009) arvioivat orgaanisten fosforilannoitteiden sisältämän fosforin välitöntä käyttökelpoisuutta suorien liukoisuusmääritysten avulla. Fosforin kemiallinen fraktiointi Hedleyn -menetelmällä osoitti, että kompostoidun naudan turvelannan fosfori oli pääosin kasveille välittömästi tai potentiaalisesti käyttökelpoisessa eli vesiliukoisessa ja emäsluoksiin (NaHCO<sub>3</sub>, NaOH) uuttuvassa muodossa. Laboratoriokokeissa kompostoidun naudan turvelannan fosforin todettiin olevan epäorgaanisen lannoitefosforin veroista. Astia- ja kenttäkokeet vahvistivat, että naudan turvelannan sisältämä fosfori vastasi lannoitusvaikutukseltaan väkilannoitefosforia, ja jälki-vaikutuksiltaan myös niukkaliukoisten fosforilähteiden fosforin käyttökelpoisuus parani koevuosien aikana, kun fosforilannoitus annettiin kokeiden perustamisen yhteydessä (Ylivainio ym. 2008, Ylivainio & Turtola 2009).

Biokaasuprosessissa lannan kokonaisravinnepitoisuudet pysyvät pääosin ennallaan, mutta ravinteiden, ennen kaikkea typen, liukoisuus muuttuu. Fosforin liukoisuuden ei yleensä ole arvioitu prosessissa muuntuvan merkittävästi. Toisaalta tuloksia fosforin käyttökelpoisuudesta käsittelyjäännöksissä on vähän. Luonnonvarakeskus (Luke) Maaningan toimipisteessä sijaitsevan maatilakohtaisen biokaasulaitoksen käsittelyjäännöstä on fraktioitu Hedleyn -menetelmällä, kun raaka-aineena oli naudan lietelannan lisäksi 8 % nurmisäilörehua syötteen tuorepainosta. Biokaasuprosessissa fosforin vesiliukoisuuden havaittiin pienentyvän reaktorialtaassa lietelannan 71 %:sta 64 %:iin ja jälkikaasualtaassa edelleen 55 %:iin (Ylivainio & Turtola 2013). Biokaasuprosessissa havaitulla vesiliukoisuuden pienentymisellä ei todennäköisesti ole suurtakaan vaikutusta kasveille käyttökelpoiseen fosforiosuuteen, koska vesiliukoinen ja natriumbikarbonaattiuuttainen fosfori muodostivat yhä noin 90 % fraktioiden yhteenlasketusta fosforipitoisuudesta (Salo ym. 2011, Ylivainio & Turtola 2013). Pidemmällä aikavälillä lietelannan ja käsittelyjäännöksen fosforin käyttökelpoisuuden voidaan olettaa olevan samaa tasoa. Koska vesiliukoisen fosforin on katsottu kuvastavan potentiaalisesti huuhtoutumiselle altista lannan sisältämää fosforimäärää (Sharpley & Moyer 2000), voi käsittelyjäännöksen hieman raakalantaa hitaampi fosforin liukoisuus olla ympäristönäkökulmasta toivottua. Jos huuhtoutumisriskiä arvioidaan vesiliukoisuuden perusteella, voi biokaasuprosessi pienentää lantafosforin välitöntä huuhtoutumista esim. tilanteessa, jossa rankkasateet huuhtovat fosforia pintaan levitetystä lietelannasta ennen kuin se ehditään mullata (Ylivainio & Turtola 2013).

Typpi on sadonmuodostuksen kannalta keskeisin kasvinravinne (etenkin liukoinen typpi), minkä takia typpilannoituksella voidaan vaikuttaa voimakkaasti sekä sadon määrään että sen laatuun. Kasveille välittömästi käyttökelpoisia typpiyhdisteitä ovat pääasiassa epäorgaaninen ammonium (NH<sub>4</sub>-N)- ja nitraattityppi (NO<sub>3</sub>-N). Väkilannoitteiden typpi on kasveille välittömästi käyttökelpoista, kun taas lannan ja viherlannoitteiden orgaanisten typpiyhdisteiden on ensin hajottava epäorgaaniseen liukoiseen muotoon (mineralisaatio). Hajotusnopeuteen vaikuttaa mm. orgaanisten lannoitteiden koostumus sekä maan mikrobilajisto ja niiden elinolosuhteet (Paasonen-Kivekäs 2009). Naudalla eri lantalajien kokonaistypestä orgaanisen typen osuus vaihtelee keskimäärin virtsan 41 %:sta kuivikelantojen 73 %:iin; liuk. N: 1,5–1,7 kg/tuore-t, kok. N: 2,7–5,6 kg/tuore-t (Viljavuuspalvelu Oy 2016; koko maa v. 2005–2009). Toisin kuin fosforin kohdalla, biokaasuprosessin on havaittu lisäävän typen liukoisuutta. Ammoniumtypen pitoisuus ja sen osuus kokonaistypestä kasvaa, kun orgaanisen aineksen sisältämä typpi mineralisoituu epäorgaaniseksi typeksi (Salo ym. 2011, Goberna ym. 2011, Möller & Müller 2012), mikä osaltaan parantaa lannan lannoitearvoa ja vähentää ostolannoitteiden käyttö-

tarvetta. Osa orgaanisten lannoitteiden hitaammin hajoavista orgaanisista typpiyhdisteistä mineralisoituu epäorgaaniseksi typeksi vasta myöhemmin (jälkivaikutustyyppi). Sadonkorjuun tai kasvukauden jälkeen vapautuva typpi on alttiina huuhtoutumiselle etenkin, jos viljeltävän kasvin aktiivinen kasvuaika on lyhyt (nurmenviljely vs. viljanviljely). Keväällä typen otto alkaa nurmella ja syysviljoilla huomattavasti aikaisemmin kuin kevätiljoilla.

Biokaasuprosessi tuhoaa monia rikkakasvien siemeniä (Ørtenblad 2015) sekä lietalannan sisältämiä patogeeneja eli tautia aiheuttavia mikrobeja (*E.coli*, *Salmonella sp.*, *Listeria sp.*) (Goberna ym. 2011) prosessiolosuhteista riippuen (mm. lämpötila, pH, käsiteltävän massan viipymä prosessissa). Biokaasuprosessissa lannan pH nousee, kun taas orgaanisen hiilen ja orgaanisen aineksen pitoisuudet, hiili/typpi -suhde, biologinen hapenkulutus sekä viskositeetti pienenevät (Möller & Müller 2012). Käsittelemättömän lannan pH:n nousu (verrattuna raakalantaan) voi lisätä ammonium-ionien muuntumista ammoniakiksi ( $\text{NH}_3$ ) ja sitä kautta saattaa kasvattaa typen kaasumaisia päästöjä niin varastoinnin kuin levityksenkin aikana. Orgaanisen aineksen pitoisuuden laskiessa ei käsittelemättömän lannan pinnalla välttämättä muodostu kuidun ja mikrobitoiminnan kaasunmuodostuksen tuottamaa riittävää kuorettumaa haihtumisesteeksi (Ørtenblad 2015). Ammoniakin haihtumista voidaan kuitenkin tehokkaasti vähentää kattamalla varastot tai lisäämällä säiliöihin kiinteä tai kelluva kate. Lietteiden sijoituslevitys tai multaaminen välittömästi pintalevityksen jälkeen vähentävät tehokkaasti levityksen yhteydessä tapahtuvaa ammoniakin haihtumista (Rubæk ym. 1996, Mattila & Joki-Tokola 2003, Regina ym. 2007, Uusi-Kämpä & Mattila 2010). Kiintoainepitoisuuden ja viskositeetin lasku edistävät käsittelemättömän lannan imeytymistä maahan, mikä osaltaan vähentää niin haihtumistappioita kuin levityksestä aiheutuvia hajuhaittoja. Toisaalta Regina ym. (2007) huomauttavat, että käsittelemättömän lannan dityppioksidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) -päästöt voivat lisääntyä sijoittamisen yhteydessä, kun liete kulkeutuu syvemmälle maahan, jossa on denitrifikaatiolle suotuisimmat (anaerobiset) olosuhteet.

Lannan biokaasuprosessointi voi vähentää potentiaalista typpihäviötä denitrifikaation kautta (nitraatin pelkistyminen dityppioksidiksi ja vapaaksi  $\text{N}_2$ -kaasuksi), koska osa raakalannan sisältämästä orgaanisesta aineksesta on käsittelemättömän lannan ajaksi jo hajotettu ja jäljelle jäänyt orgaaninen aine on mikrobiologisesti vaikeammin hajotettavissa (Ørtenblad 2015). Biokaasuprosessissa orgaanisen aineksen hiili/typpi -suhde myös alenee (de Boer 2008, Möller & Müller 2012). Kun hajotettavassa orgaanisessa aineksessa on runsaasti typpeä suhteessa hiilen määrään, typpeä jää yli mikrobien tarpeen ja ylimäärä vapautuu epäorgaanisena typpinä kasvien käyttöön (mineralisaatio). Tilanteen ollessa päinvastainen, mineralisoitua typpiä ei välttämättä riitä mikrobien tarpeisiin ja ne sitovat epäorgaanista typpeä solujensa rakennusaineiksi orgaaniseen muotoon (immobilisaatio). Orgaanisen aineksen mineraloituvuutta onkin kuvattu hiili/typpi -suhteen avulla. Stevensonin & Colen (1999) mukaan nettomineralisaatiota tapahtuu, kun hiili/typpi -suhde on alle 20 ja vastaavasti nettoimmobilisaatiota, kun hiili/typpi -suhde on yli 30. Sonnan hiili/typpi -suhde on tyypillisesti n. 20, virtsan n. 2–5, kun se sian lietalannalla on karkeasti n. 4 ja naudnan lietalannalla n. 10, mikä tyypillisesti johtaisi nettomineralisaatioon. Naudnan lietalanta sisältää yleensä enemmän heikosti hajoavaa orgaanista hiiltä kuin sian lietalanta (Jensen & Sommer 2013).

Käsittelemättömän lannan ja biokaasuprosessin läpikäyneen lantapohjaisen käsittelemättömän lannan typpilannoitusvaikutus kasveille riippuu etenkin kokonaistypen käyttökelpoisuudesta, jota kuvaa parhaiten liukoisen typen osuus kokonaistypestä. Lisäksi typpilannoitusvaikutus riippuu kokonaistypen ei-liukoisen osan mineralisaatiosta sekä typpihävikistä haihtumisena ja huuhtoutumisena. Nämä prosessit osaltaan selittävät havaittuja eroja astia- ja kenttäkokeiden välillä (lyhyt aikaväli vs. pitkä aikaväli; levitystapa: orgaanisen lannoitteen sekoittaminen maahan vs. pintalevitys). Astiakokeissa käsittelemättömän lannan typpilannoitusvaikutuksen on pääsääntöisesti havaittu olevan käsittelemättömän lannan parempi, kun taas kenttäkokeista saadut tulokset ovat ristiriitaisempia. Lyhytaikaisissa astiakokeissa kasvusto hyödyntää välittömästi käyttökelpoiset ravinteet tehokkaasti, kun taas pidempiaikaisissa kenttäkokeissa laajan juuriston omaava kasvusto pystyy hyödyntämään orgaanisista typpiyhdisteistä hitaammin vapautuvan typen (Möller & Müller 2012). Kasvihuonekokeessa naudnan

lietelannan käsittelyjäännöksestä separoidun nestejakeen on havaittu vastaavan lannoitusarvoltaan väkilannoitetyypeä ja tuottavan englanninraiheinällä tai raiheinä-valkoapila -nurmella vastaavan tai suuremman sadon kuin väkilannoitteet (Walsh ym. 2012). de Boer (2008) havaitsi käsittelyjäännöksen (syötteessä mukana elintarviketeollisuuden sivutuotteita) lisäävän astiakokeessa raiheinän typenottoa verrattuna käsittelemättömään sian lantaan. Vaikutus oli selvän ensimmäisen niiton kohdalla (lisäys keskimäärin 22 %), koska kasvusto hyötyi typen käyttökelpoisuuden lisääntymisestä ammonium-/kokonaistyyppi -suhteen kasvaessa ja samanaikaisesti hiili/typpi -suhteen pienentyessä.

Kotimaassa naudon lietelannan ja naudantapohjaisen käsittelyjäännöksen lannoitusvaikutusta ja ravinnekiertoja ovat tutkineet mm. Regina ym. (2007), Kapuinen ym. (2008a, 2008b), Laukkanen (2012) ja Iivonen ym. (2013). Koska käsittelyjäännöksen ja lietelannan lannoitusvaikutusten havaitut erot johtuvat lukuisista tekijöistä - ennen kaikkea lietteiden ominaisuuksista, varastoinnista, levitysmenetelmistä, käytetyistä viljelykasveista ja vallitsevista olosuhteista sekä tutkimusjärjestelyistä - on aiheesta kokonaisuuteen nähden hyvin niukasti tutkimustietoa, jonka pohjalta voitaisiin laatia käytännön viljelyyn luotettavia ennusteita ja ohjeita.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää naudon lietelannan (raakalanta), maatilakohtaisen biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen (raaka-aineina naudon lietelanta ja vähäinen määrä kasvibiomassaa) ja samasta käsittelyjäännöksestä separoitujen neste- ja kuivajakeiden typpilannoitusvaikutusta ja käyttöarvoa nurmen ja ohran tuotannossa verrattuna väkilannoitetyyppiin. Tavoitteena oli myös tuottaa lisää tietoa orgaanisten lannoitteiden mahdollisuuksista lannan käytön tehostamisessa ja väkilannoitteiden korvaajana tilakohtaisissa ratkaisuissa sekä selvittää orgaanisten lannoitteiden vaikutusta ravinnekiertoon ja maaperään. Ohrakokeen satotulokset on julkaistu aiemmin opinnäytetyönä (Partanen 2012; nyk. Pakarinen, T.).

## 2. Aineisto ja menetelmät

Raakalannan (naudan liotelanta), maatilakohtaisen biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen ja käsitte-lyjäännöksestä separoitujen kuiva- ja nestejakeiden käyttöä lannoitteena tutkittiin Luonnonvarakeskus (Luke) Maaningan, silloisen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT Maaningan toimipisteessä vuosina 2009–2012. Kenttäkokeet perustettiin vuonna 2009 satunnaistettujen lohkojen kokeina neljänä kerranteena eli toistona. Nurmi- ja ohrakokeet perustettiin erikseen, hieman toisistaan poikkeavin käsittelyin. Koska orgaanisten lannoitteiden tarkkoja liukoisen typen määriä ei voitu selvittää tarkasti ennen niiden levittämistä, kontrollikäsittelynä oli väkilannoituksella annetut typpiportaatt, joiden avulla laadittiin satofunktiot. Orgaanisia lannoitteita verrattiin liukoisen typen osalta väkilannoitefunktion antamiin tuloksiin.

### 2.1. Lietelannan käsittely

Kokeissa käytettiin naudan liotelantaa ('raakalanta'), liotelannasta ja muista syötteistä peräisin olevaa biokaasulaitoksen käsittelyjäännöstä sekä käsittelyjäännöksestä separoituja kuiva- ja nestejakeita. Kesällä 2009 kokeille levitettiin Kalmarin maitotilan (Metener Oy, Laukaa) raakalantaa ja biokaasulaitoksen käsittelyjäännöstä (sekä siitä separoituja kuiva- ja nestejakeita), jonka sisältö koostui naudan liotelannasta (syöttömäärä 2000 t/v) sekä makeistehtaan jätteistä (syöttömäärä 200 t/v). Muina vuosina lypsylehmien liotelanta oli peräisin Luke Maaningan tutkimuspihatosta ja käsittelyjäännös oli peräisin Luke Maaningan maatilakohtaisesta biokaasulaitoksesta. Kesällä 2010 käytettiin käsittelyjäännöstä, joka oli peräisin naudan liotelannan (syöttömäärä 10 t/vrk) ja sipulijätteen (syöttömäärä 800 kg/vrk) yhteiskäsittelykokeesta. Kesällä 2011 käytetty käsittelyjäännös oli peräisin naudan liotelannan (syöttömäärä 10 t/vrk) ja ruokohelpisäilörehun (syöttömäärä 700 kg/vrk) yhteiskäsittelykokeesta. Vuonna 2012 biokaasulaitokseen syötettiin naudan liotelantaa 10 t/vrk ja timoteinurminatasäilörehua 800 kg/vrk. Käsittelyjäännös otettiin biokaasulaitoksen jälkikaasualtaan jälkeisestä kokoomakaivosta ja raakalanta reaktorin esisäiliöstä. Koska Luke Maaningan biokaasulaitoksen laskennallinen viipymäaika on syötteestä riippuen noin 25 + 25 vuorokautta (reaktori + jälkikaasuallas), olisi lanta pitänyt kerätä hiljalleen tuon viipymän aikana, jotta se olisi vastannut samana aikana muodostunutta käsittelyjäännöstä. Käytännössä tämä olisi ollut vaikea toteuttaa, ja myös varastoitu lantakoonti olisi muuntunut varastoinnin aikana. Näin ollen raakalanta ja käsittelyjäännös otettiin säiliöistään samaan aikaan, eikä käsittelyjäännös välttämättä ole peräisin ravinnepitoisuuksiltaan täysin samankaltaisesta raakalannasta kuin kokeessa käytetty raakalanta. Kuivajae ja nestejaje separoitiin erilleen käsittelyjäännöksestä ruuvipuristimella (Bauer separaattori S 655) käyttäen 0,75 mm:n seulaa.

Koska orgaanisten lannoitteiden ravinnekoostumuksen ennakoanalyysi oli koeteknisesti vaikeasti toteutettavissa, kokeille levitettävät määrät laskettiin eri lantatyypin keskimääräisten ravinnearvojen perusteella ennen kaikkea typen, mutta myös fosforin ja kaliumin suhteen (Luke Maaningan aineisto). Levityksen yhteydessä levitetty määrä punnittiin ja levitysala mitattiin. Ravinteiden tarkkojen levitysmäärien laskemiseksi orgaanisista lannoitteista otettiin edustavat näytteet ja niiden ravinnepitoisuudet analysoitiin. Näytteet otettiin kahtena rinnakkaisena jokaisen levityksen yhteydessä (vuonna 2012 neljänä rinnakkaisena); toinen näyte lähetettiin analysoitavaksi ja toinen pakastettiin varanäytteeksi, joka analysoitiin tarvittaessa myöhemmin. Vuonna 2012 lähetettiin kaksi rinnakkaista näytettä analyysiin ja pakastettiin toiset kaksi, jotta analyysitulokset tarkentuisivat. Näytteet analysoitiin vuonna 2009 silloisen MTT Kasvintuotannontutkimuksen laboratoriossa ja vuosina 2010–2012 Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Vuonna 2009 orgaanisten lannoitteiden kokonaisfosforin ja -kaliumin pitoisuudet määritettiin kuivapoltetuista näytteistä suolahappouutolla (Kähäri & Nissinen 1978; 450 °C, 0,2 M HCl), ja suodatettujen tuhkauteiden kivennäisaineiden pitoisuudet mitattiin ICP-OES -laitteistolla. Kokonaistyyppipitoisuus määritettiin tuoreesta näytteestä Kempin (1989) lanta-analyysimenetelmän mukaisesti Kjeldahl-menetelmällä, jossa näytteelle tehtiin ensin märkä-

poltto kuumentamalla sitä rikkihapossa (poltto 420 °C; väkevä H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, katalysaattorina CuSO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:n kiehumispisteen nosto K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:lla). Tämän jälkeen poltossa vapautunut ammoniummuodossa oleva tyyppi määritettiin tislamalla. Liukoinen tyyppi, joka tässä yhteydessä tarkoittaa käytännössä lannan ammoniumtyppisisältöä, määritettiin suolahappo-kalsiumkloridiuutolla (2 M HCl-2,5 M CaCl<sub>2</sub>, tislaus). Vuosina 2010–2012 fosfori- ja kaliumpitoisuudet määritettiin kuivapoltetuista näytteistä suolahappopouutolla (ISO 5516:1978; 550 °C, 4,0 M HCl, mittaus ICP-AES), ja kuiva-ainepitoisuus gravimetrisesti kuivaamalla näytettä 105 °C:ssa yön yli (modifioitu menetelmästä SFS 3008; 1990). Kokonaistyyppi määritettiin Kjeldahl-menetelmällä (SFS 5505:1988; väkevä H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, katalyyttinä K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+Cu) ja liukoinen tyyppi määritettiin kaliumsulfaattiuutolla (0,1 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), jossa huomioidaan myös lannan mahdollisesti sisältämä nitraattityppi (Kjeldahl-menetelmä: poltto devardan lejeerinki katalyyttinä; Cu/Al/Zn 50 %:45 %:5 % -metalliseoksella nitraatit ja nitriitit pelkistetään ammoniakiksi, tislaus).

Raakalanta ja käsittelyjäännös levitettiin kiertokokeen perusteella määräytyneillä ajosäädöillä kaikille neljälle kerranteelle, jolloin saatiin laskennallinen ruutukohtainen keskiarvo levitetystä määrästä (levityskalusto on kuvattu luvussa 2.2). Ruuduille levitetty raakalannan ja käsittelyjäännöksen määrä varmistettiin punnitsemalla traktorin ja konttilevittimen yhdistelmä aina ennen levitystä ja levityksen jälkeen. Käsini levitettävät kuiva- ja nestejake punnittiin ruutukohtaisesti. Ravinteiden lannoitusmäärät laskettiin laboratoriossa orgaanisista lannoitteista määritettyjen pitoisuuksien perusteella.

Separoitavasta käsittelyjäännöksestä sekä siitä syntyvistä kuiva- ja nestejakeista määritettiin analysoinnin yhteydessä kuiva-ainepitoisuudet (ka). Massa- ja ravinnetaselaskelmia varten laskettiin separoinnista syntyvän kuivajakeen tuoremassa kaavalla:

$$m_{\text{kuivajae}} = (ka_{\text{jäännös}} - ka_{\text{neste}}) / (ka_{\text{kuivajae}} - ka_{\text{nestejake}}) * m_{\text{jäännös}} \quad (1)$$

$m_{\text{kuivajae}}$       separoinnissa syntyvän kuivajakeen tuoremassa,  
 $ka_{\text{jäännös}}$       separoitavan käsittelyjäännöksen kuiva-ainepitoisuus (ka % / 100),  
 $ka_{\text{nestejake}}$       separoinnissa syntyvän nestejakeen kuiva-ainepitoisuus (ka % / 100),  
 $ka_{\text{kuivajae}}$       separoinnissa syntyvän kuivajakeen kuiva-ainepitoisuus (ka % / 100),  
 $m_{\text{jäännös}}$       separoitavan käsittelyjäännöksen tuoremassa.

Nestejakeen tuoremassa laskettiin lietelannan ja kuivajakeen tuoremassojen erotuksena. Jakeiden ravinnesisältö laskettiin niiden ravinnepitoisuuksien ja kaavalla 1 laskettujen massojen tulona. Tase (käsittelyjäännös = kuivajae + nestejake) ei täsmää kaikilla ravinteilla täysin näytteenoton ja analyysien epätarkkuuksien vuoksi.

## 2.2. Ohrakokeen perustaminen ja hoito

Ohrakokeessa käytetyt lannoituskäsittelyt olivat raakalanta, käsittelyjäännös, käsittelyjäännöksestä separoitu kuivajae täydennettynä Suomensalpietarilla sekä käsittelyjäännöksestä separoidun kuivajakeen ja nestejakeen yhdistelmä, jossa neste levitettiin myöhemmin ohran ollessa jo oraalla (Taulukko 1). Ensimmäisenä koevuonna pelkkä kuivajakekäsittely ei toteutunut. Lietekäsittelyjen lisäksi kokeessa oli kuusi eri tyyppiporrasta, alkaen nolasta ja päättyen sataan tyyppikiloon hehtaaria kohden. Tyyppiporraskoejäsenet (kg N/ha) lannoitettiin väkilannoitteilla.

**Taulukko 1.** Ohrakokeen ja nurmikokeen koejäsenet.

Koejäsen	Ohra	Nurmen suojavilja	Nurmi
1	Raakalanta	Raakalanta	Raakalanta
2	Käsittelyjäännös	Käsittelyjäännös	Käsittelyjäännös
3	Separoitu kuiva + väkilann. 40 SS*	Separoitu kuiva	Separoitu neste
4	Separoitu kuiva + neste oraille	Väkilannoite 0 N	Separoitu neste/ 0 N
5	Väkilannoite 0 N	Väkilannoite 15 N	Väkilannoite 0 N
6	Väkilannoite 20 N	Väkilannoite 30 N	Väkilannoite 30 N
7	Väkilannoite 40 N	Väkilannoite 45 N	Väkilannoite 60 N
8	Väkilannoite 60 N	Väkilannoite 60 N	Väkilannoite 90 N
9	Väkilannoite 80 N	Väkilannoite 75 N	Väkilannoite 120 N
10	Väkilannoite 100 N	Väkilannoite 75 N	Väkilannoite 150 N

\*40 kg N/ha Suomensalpietarina.

Ruutukoko oli 2,7 m × 10 m, ja koealue kynnettiin syksyisin ruutujen suuntaisesti. Näin varmistettiin, että ravinteet eivät päässeet maata muokattaessa siirtymään ruudulta toiselle. Varsinainen satoruutu oli kooltaan 1,5 × 8,0 m. Vuonna 2009 ohra- ja nurmikokeet sijaitsivat rinnakkain, mutta ohrakokeen paikka osoittautui huonoksi, sillä osa kasvustosta lakoontui liiallisen kosteuden vuoksi. Lisäksi maan ravinnepitoisuuksissa oli suurta vaihtelua koeruutujen välillä. Koe siirrettiin kahdeksi seuraavaksi satovuodeksi saman peltolohkon toiseen päähän. Raakalantaa ja käsittelyjäännöstä levitettiin vuosittain keskimäärin 35 t/ha, kuivajae 16 t/ha (vuonna 2009 3 t/ha) ja nestejake keskimäärin 26 t/ha. Raakalanta ja käsittelyjäännös levitettiin omavalmisteisella, nostolaitesovitteisella 1 m<sup>3</sup>:n vetoisella konttilevittimellä (Kuva 1a). Kontin työleveys oli 150 cm ja siinä oli kuusi vannasta (2-kiekko; Konepaja Kääriäinen Ky), jotka sijoittivat lietteen noin 5–7 cm:n syvyyteen. Separoitu kuivajae levitettiin käsin ennen kylvöä ja mullattiin jyrsimellä. Koejäsenen separoitu kuivajae typpi täydennettiin lisäämällä 40 kg N/ha Suomensalpietarina. Väkilannoitus tapahtui sijoittavalla Juko-kylvölannoittimella ennen kylvöä. Lannoitteina käytettiin superfosfaattia (NPK 0-9-0), kaliumsulua (NPK 0-0-50) sekä Suomensalpietaria (NPK 27-0-1). Väkilannoiteruudut saivat fosforia 15 kg/ha ja kaliumia 60 kg/ha jokaisena vuonna, sekä väkilannoitetyypeä typpiportaiden mukaisesti (0, 20, 40, 60, 80 ja 100 kg N/ha). Ruudut kylvettiin poikittain Voitto-ohralla. Separoitu nestejake levitettiin oraille kastelukannulla varoen vahingoittamasta oraita. Syksyllä koeruudut puitiin Wintersteiger-koeruutupuimurilla.



**Kuva 1.** a) Raakalannan ja käsittelyjäännöksen levitykseen käytetty sijoittava konttilevitin. b) Kuivajakeen separointia. Kuvat: Perttu Virkajärvi.





**Kuva 2.** a) Koeruudulle levitetty separoitu kuivajae. Kuva: Perttu Virkajärvi. b) Ohran oraille levitetty separoitu nestejae. Kuva: Jyri-Pekka Lemettinen.

Koeruuduilta tehtiin tähkälletulo- ja tuleentumishavainnot. Ennen puintia kasvuston korkeus mitattiin ruuduittain sekä tehtiin lakoutumishavainnot. Sadonkorjuun yhteydessä määritettiin ruutusato (jyvät) sekä otettiin edustavat näytteet kuiva-ainepitoisuuden ja kemiallisten ominaisuuksien määrittämiseksi. Jyvänäytteistä poistettiin epäpuhtaudet ja näytteistä määritettiin hehtolitrapaino, tuhannen jyvän paino sekä kuiva-ainepitoisuus kuivaamalla näytteet vuorokauden ajan 100 °C:ssa. Jyvien typpi- ja fosforipitoisuudet analysoitiin vuonna 2009 silloisen MTT Kotieläintuotannon tutkimuksen laboratorioissa Jokioisissa ja vuosina 2010–2011 Viljavuuspalvelu Oy:ssa. Jokioisissa jyvien kokonais-typpipitoisuus määritettiin Dumas-menetelmällä, jossa näytteelle tehdään kuivapoltto (AOAC 1990; Leco® FP 428 -analysointilaitteisto). Jyvien kokonaisfosforipitoisuus määritettiin märkäpoltetuista näytteistä (HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-liuos) Huangin & Schulten (1985) kuvaamalla menetelmällä, ja uutteen fosforipitoisuudet mitattiin ICP-OES -laitteistolla. Viljavuuspalvelu Oy:ssä typpi määritettiin joko Kjeldahl-menetelmällä (märkäpoltto, tislauk) (ISO 1871:1975 ja ISO 937:1978) tai Dumas-menetelmällä (modifioitu EN 13654-2), ja fosfori määritettiin kuivapoltetuista näytteistä (550°C; HCl-uutto) (ISO 5516:1978) ja uutteen fosforipitoisuudet mitattiin ICP-AES -laitteistolla. Säähavainnot saatiin Luke Maaningalla sijaitsevalta Ilmatieteen laitoksen sääasemalta. Maan lämpötilaa mitattiin lämpötilaloggereilla (2–3 kpl/koealue), jotka sijoitettiin maahan noin 5 cm:n syvyyteen (a-Nap 100, A-Lab Oy, Keuruu, Suomi / HOBO® H8, Temp., Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA). Tensiometrit (1–2 kpl/koealue), jotka mittaavat maaveden painepotentiaalia, sijoitettiin noin 20 cm:n syvyyteen ja ne luettiin noin kaksi kertaa viikossa (Soilmoisture Equipment Corporation, Santa Barbara, CA, USA). Ohralta tehtiin lehtialaindeksimittauksia (LAI) kaksi kertaa vuonna 2009 ja kerran vuonna 2010. Mittausten tavoitteena oli nähdä, onko orgaanisten lannoitteiden välillä eroa kasvuun lähdön intensiteetissä ja sitä kautta typen vapautumisnopeudessa. Mittaukset tehtiin LAI-2000-mittarilla (LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, USA).

### 2.3. Nurmikokeen perustaminen ja hoito

Nurmikokeen käsittelyt poikkesivat hieman ohrakokeesta, sillä ensimmäisenä vuonna korjattiin suojaviljana ollut kokovilja ja sen jälkeen nurmi kahdesti kesässä.

Timotei-nurminatanurmi (Tuure/Ilmari; 70:30 %) perustettiin suojaviljaan (Voitto-ohra) keväällä 2009. Perustamisvuonna käsittelyt olivat raakalanta, käsittelyjäännös sekä käsittelyjäännöksestä separoitu kuivajae (Taulukko 1). Raakalantaa levitettiin 21 t/ha, käsittelyjäännöstä 30 t/ha ja kuivajaetta 19 t/ha. Väkilannoiteruutujen typpiportaot olivat välillä 0–75 kg N/ha (0, 15, 30, 45, 60 ja 2 kpl 75 kg N/ha). Lisäksi väkilannoiteruuduille annettiin fosforia 15 kg/ha ja kaliumia 60 kg/ha. Orgaanisten lannoitteiden levitysmenetelmät ja käytetyt väkilannoitteet olivat samat kuin ohrakokeella. Suojavilja korjattiin kokoviljana Haldrup 1500 -koealustalla, ja siitä määritettiin ruutusato ja otettiin ana-

lyysinäyte. Näytteistä määritettiin kuiva-ainepitoisuus ja analysoitiin neutraalidetergenttikuitu NDF ja raakavalkuainen silloisen MTT Kasvintuotannon tutkimuksen laboratoriossa lähi-infrapunaspektroskopiaan perustuvalla NIR-menetelmällä. Näytteiden kaliumin ja fosforin pitoisuudet määritettiin Huangin & Schulten (1985) kuvaamalla menetelmällä (märkäpoltto,  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$  -liuos) ja uutteen pitoisuudet mitattiin ICP-OES -laitteistolla. Koska MTT:n NIR-laitteiston sulavuuden eli D-arvon määrittystä ei ollut kalibroitu kokoviljalle, D-arvo määritettiin sellulaasiliukoisuuden ja tuhkan avulla silloisen MTT Kotieläintuotannon tutkimuksen laboratoriossa (Nousiainen ym. 2003, Huhtanen ym. 2006).

Nurmivuosina orgaaniset lannoitteet annettiin ensimmäisen niiton jälkeen. Ensimmäiselle sadolle kaikki koejäsenet saivat 100 kg N/ha, 0 kg P/ha ja 3,7 kg K/ha Suomensalpietarina (NPK 27-0-1). Nurmivuosina perustamisvaiheessa kuivajakeen saanut koejäsen 3 sai käsittelykseen käsittelyjäännöksestä separoidun nestejakeen (Taulukko 1). Typpiportaot olivat nurmivuosina välillä 0–150 kg N/ha (0, 30, 60, 90, 120 ja 150 kg N/ha). Väkilannoiteruudut saivat 20 kg/ha fosforia ja 110 kg/ha kaliumia superfosfaatin ja kaliumsuolan seoksena. Koejäsen 4 oli perustamisvuonna 0 kg N/ha -typpiporras, vuonna 2010 se sai nestejakeen ja vuonna 2011 se oli jälleen 0 kg N/ha -typpiporras. Vuonna 2012 koejäsentä 4 ei enää toteutettu. Koejäsen 5, joka oli nurmivuosina 0 kg N/ha -porras, sai perustamisvuonna 15 kg N/ha (Taulukko 1). Orgaaniset lannoitteet levitettiin samoin kuin ohralle ja väkilannoitteet levitettiin pintaan käsin työnnettävällä koeruutumittakaavan lannoitteenlevittimellä. Nurmivuosina raakalantaa levitettiin keskimäärin 29 t/ha, käsittelyjäännöstä 26 t/ha ja separoitua nestejakeetta 50 t/ha.

Koeruudut niitettiin 6–8 cm:n sänkeen kaksi kertaa kesässä Haldrup 1500 -koeniittokoneella. Satoruudun koko oli 12 m<sup>2</sup>. Korjuun yhteydessä määritettiin ruutusato ja otettiin ruuduittain edustava kasvustonäyte analyysijä varten. Kuiva-ainepitoisuus määritettiin ruuduittain kuivaamalla 200 g näytettä 60 °C:ssa kahden vuorokauden ajan. Kasvustonäytteistä määritettiin D-arvo, ligniinipitoisuus, NDF ja raakavalkuainen silloisen MTT Kasvintuotannon tutkimuksen laboratoriossa NIR-menetelmällä. Kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, natriumin ja fosforin pitoisuudet määritettiin silloisen MTT Kotieläintuotannon tutkimuksen laboratoriossa Huangin & Schulten (1985) kuvaamalla menetelmällä (märkäpoltto,  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$  -liuos); uutteen kivennäisaineiden pitoisuudet mitattiin ICP-OES -laitteistolla. Maan kosteuden ja lämpötilan mittausta sekä lietenäytteiden otto toteutettiin samalla tavoin kuten ohrakokeella. Ohra- ja nurmikokeilla tehtyjen toimenpiteiden ajankohdat on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Ohra- ja nurmikokeilla tehtyjen toimenpiteiden ajankohdat.

<b>Ohra</b>	<b>2009</b>	<b>2010*</b>	<b>2011</b>
Alkumaanäytteen	29.5.	**	**
Väkilannoitus	4.-5.6.	3.6.	1.6.
Raakalanta, käsittelyjäänös, separoitu kuivajae	11.–12.6.,16.6.	3.6.	6.6.
Kylvö	17.6.	3.6.	6.6.
Separoitu nestejake oraille	1.7.	30.6.	29.6.
Puinti	18.9.	16.8.	19.9.
Maanäytteen	30.9.–1.10.	15.–21.9.	5.–6.10.

\* Kokeen paikka vaihtui.

\*\* Ks. luku 2.4.

<b>Nurmi</b>				
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
Alkumaanäytteet	29.5.	-	-	-
Väkilannoitus	4.–5.6.	19.5.	20.5.	9.5.
Raakalanta, käsittelyjäännös, separoitu kuivajae	11.–12.6.,16.6.	-	-	-
Kylvö	22.6.	-	-	-
1. niitto	-	21.6.	23.6.	20.6.
Väkilannoitus	-	5.7.	5.–6.7.	4.–5.7.
Raakalanta, käsittelyjäännös, separoitu nestejae	-	30.6.	29.6.	2.–4.7.
2. niitto	26.8.*	18.8.	17.8.	16.8.
Maanäytteet	28.–29.9.	21.–29.9.	10.–12.10.	10.–11.9.

\* Suojaviljan niitto

## 2.4. Maanäytteet

Alkutilannetta kuvaavat maanäytteet otettiin jokaiselta kerranteelta ennen kenttäkokeiden perustamista. Maanäytteet otettiin muokkauskerroksesta (0–20 cm) kokoomanäytteinä siten, että ruutukohmainen näyte koostui 5–6 kairallisesta, minkä jälkeen maa-aines homogenisoitiin sekoittamalla osanäytteet. Koska ohrakokeen paikka muuttui koejakson aikana, uudesta paikasta otettiin näytteet syksyllä 2011 mekaanista maa-analyysia varten, mutta muiden analyysitulosten osalta alkutilannetta arvioitiin syksyn 2010 lannoittamattoman (0 kg N/ha) koejäsenen perusteella. Taustatiedoiksi määritettiin maan lajitekoostumus eli tekstuuri mekaanisella maa-analyysillä (Elonen 1971). Maan pH määritettiin maa-vesisuspensiosta (v/v 1:2,5), ja orgaanisen hiilen ja kokonaistypen pitoisuudet määritettiin kuivapolttomenetelmällä Leco<sup>®</sup>-analysaattorilla. Orgaanisen hiilen pitoisuus voidaan muuntaa orgaanisen aineksen määräksi käyttämällä muuntokerrointa 1,724 (mm. Viljavuuspalvelu Oy:n käytännön mukaisesti). Kerroin perustuu oletukseen, että orgaanisen aineksen hiilisisältö on 58 % (Stevenson & Cole 1999). Lisäksi määritettiin helppoliukoinen fosfori (viljavuusfosfori;  $P_{HAAC}$ ) sekä vaihtuva kalsium ( $Ca_{HAAC}$ ), kalium ( $K_{HAAC}$ ) ja magnesium ( $Mg_{HAAC}$ ) ammoniumasetatiiniliuoksella (0,5 M  $CH_3COONH_4$ , 0,5 M  $CH_3COOH$ ; pH 4,65) (Vuorinen & Mäkitie 1955), ja uuttoliuosten P-pitoisuudet mitattiin Skalar -autoanalysaattorilla ja Ca-, K-, Mg- ja S -pitoisuudet ICP-OES -laitteella.

Syksyisin maanäytteet otettiin jokaiselta ruudulta kolmesta eri syvyydestä: 0–2, 2–10 ja 10–25 cm. Maan pintakerroksesta näytteet otettiin sipulikairalla. Syvemmistä maakerroksista näytteet otettiin ohrakokeella traktorikairalla, mutta nurmikokeella näytteet otettiin käsin kairaamalla, jotta nurmi ei olisi vahingoittunut. Näytteistä määritettiin pH sekä orgaanisen hiilen, kokonaistypen, P:n, K:n, Ca:n ja Mg:n pitoisuudet edellä kuvatulla tavalla (vuonna 2009 mukana oli myös rikki  $S_{HAAC}$ ). Lisäksi määritettiin liukoisen epäorgaanisen typen (mineraalityppi: ammonium  $NH_4-N$ - ja nitraattityppi  $NO_3-N$ ) ja liukoisen kokonaistypen (TSN) määrä uuttamalla maata 2 M KCl-liuoksella (2 h) uuttosuhteella 1:5. Uutot tehtiin mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen (säilytys +4 °C:ssa) ja uutteen pakastettiin odottamaan mittausta. Uuttojen yhteydessä maanäytteistä määritettiin kosteuspitoisuus gravimetrisesti kuivaamalla näytteitä 105 °C:ssa vuorokauden ajan. Uutteiden  $NH_4-N$ :n ja  $NO_3-N$ :n ja kokonais-N:n pitoisuudet mitattiin spektrofotometrisesti Skalar -autoanalysaattorilla. KCl-uuttainen kokonaistyyppi määritettiin autoklavoidusta ( $K_2S_2O_8$ -lisäys) suodoksesta. Liukoinen orgaaninen tyyppi (SON) laskettiin liukoisen kokonaistypen ja mineraalityypen ( $NH_4-N+NO_3-N$ ) erotuksena. KCl-liuoksesta tehtiin yksi nollanäyte/kerranne, joka vähennettiin KCl-uutteiden pitoisuuksista kerranteittain. KCl-uutot tehtiin Luke Maaningalla. Maaperäanalyysit ja KCl-uutteiden mittaukset tehtiin silloisen MTT Kasvintuotantotutkimuksen laboratoriossa Jokioisilla, kun taas vuonna 2011 otettujen maanäytteiden mekaaniset analyysit tehtiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Yksikkömuunnosten kohdalla (esim. muu-

tettaessa tilavuusyksikköä kohti ilmoitettuja tuloksia massayksikköä kohti ja/tai päinvastoin) oletettiin, että maan irtotiheys on  $1,0 \text{ g/cm}^3$ .



**Kuva 3.** a) Maanäytteiden ottoa käsin kairaamalla. Kuva: Luke Maaningan arkisto. b) Maanäytteiden ottoa traktorikairalla. Kuva: Mari Rätty. Kuvat eivät ole tämän tutkimuksen kokeilta.

## 2.5. Tilastomenetelmät

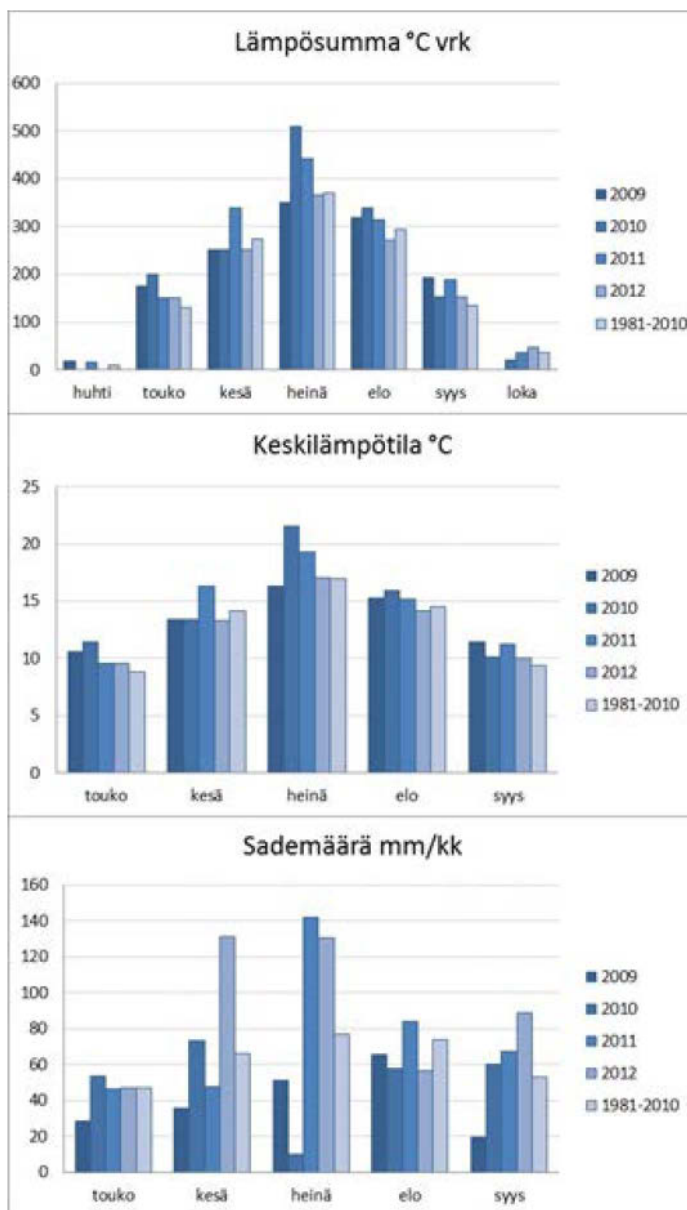
Aineiston tilastollinen analysointi tehtiin SAS 9.2. -ohjelmiston MIXED-proseduurilla. Vuodet ja niitot analysoitiin aina erikseen. Lannoituskäsittely oli mallissa kiinteänä tekijänä ja kerranne satunnaisena. Parivertailut orgaanisten lannoitteiden välillä tehtiin kontrastien avulla. Jotta orgaanisten lannoitteiden tuottamaa satotasoa voitiin verrata vastaavaan väkilannoitteena annettuun liukoisen typen määrään, tyyppiporrastulosten avulla muodostettiin väkilannoitefunktiot (MS-Excel), joihin orgaanisia lannoitteita verrattiin. Funktioina käytettiin toisen, kolmannen tai neljännen asteen polynomia tilanteesta riippuen.

Syksyn maanäytteiden tulokset analysoitiin mallilla, jossa kiinteinä tekijöinä olivat lannoituskäsittely, näytteenottosyvyys ja näiden yhdysvaikutus ja satunnaisina tekijöinä kerranne ja kerranne\*näytteenottosyvyys-yhdysvaikutus. Näytteenottosyvyys oli toistotekijä Toeplitz-kovarianssirakenteella. Parivertailut tehtiin kontrastien avulla. Poikkeavia havaintoja poistettiin analyysistä tarvittaessa.

### 3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kenttäkokeilta kerättiin neljän vuoden aikana kattavasti tietoa sekä sadosta, sen ravinnepitoisuuksista ja ravinnetaseista että erilaisten lannoitusten vaikutuksista maassa. Taustatietoina esitetään lämpötila- ja kosteusmittaukset Ilmatieteenlaitoksen sääasemalta ja maasta mitattuna sekä maan lähtötiedot. Orgaanisten lannoitteiden ravinnepitoisuudet ja massa- ja ravinnetaseet esitetään ennen varsinaisia satotuloksia. Ohra- ja nurmikokeen sato- ja ravinnetasetulokset sekä maanäytteiden analyysitulokset esitetään ohralle ja nurmelle vuoronperään.

#### 3.1. Kasvukausien 2009–2012 lämpötila, sademäärä, maan lämpötila ja kosteus



**Kuva 4.** Koevuosien lämpösommakertymät, kuukausien keskilämpötilat ja sademäärät verrattuna pitkän aikavälin 1981–2010 keskiarvoon.

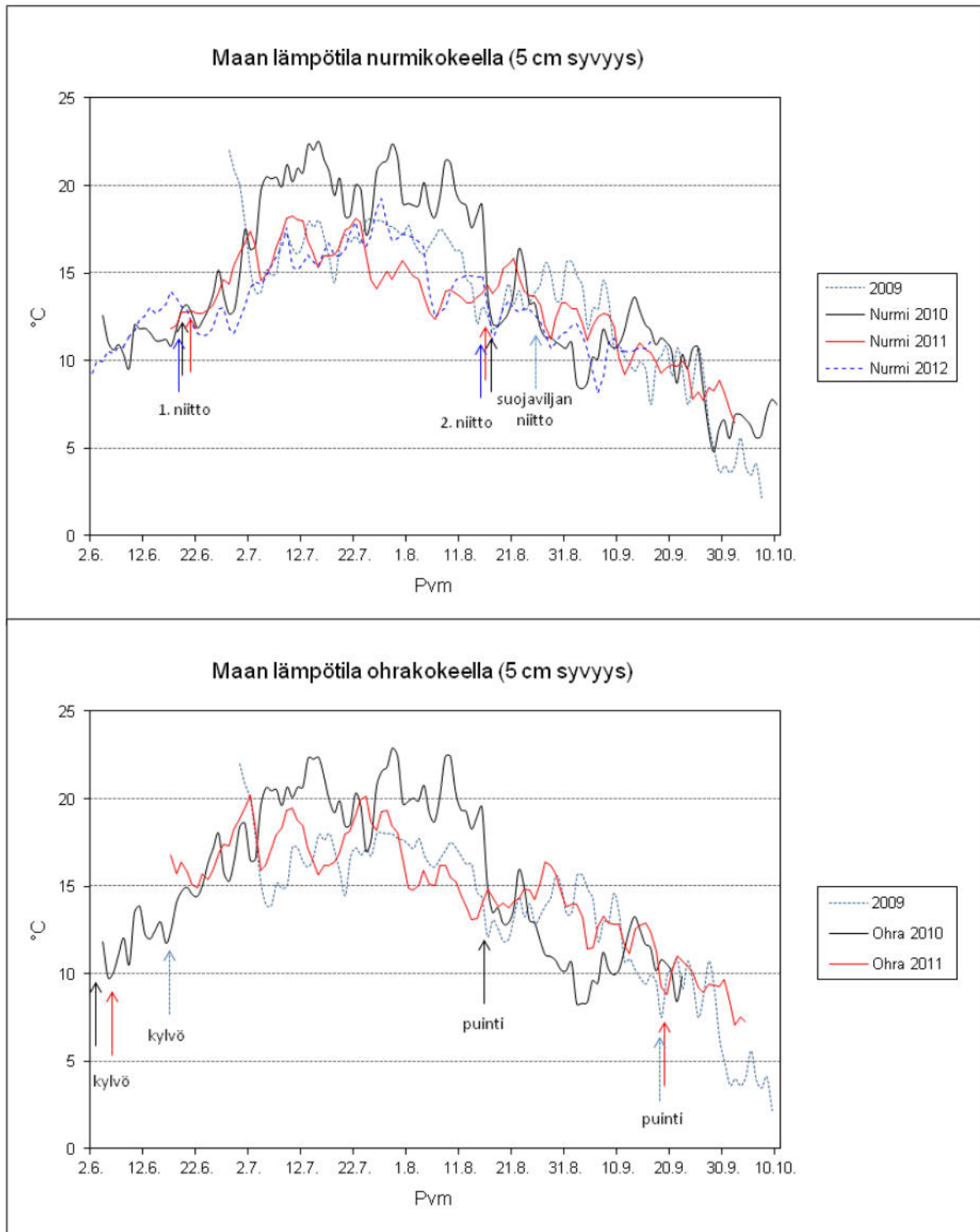
Koevuodet 2009–2012 poikkesivat sääolosuhteiltaan toisistaan (Kuva 4). Pitkän aikavälin (1971–2000) keskiarvoon verrattuna etenkin syksyt olivat koevuosina keskimääräistä lämpimämpiä. Kesän 2010 heinäkuu oli poikkeuksellisen lämmin, keskilämpötila oli 21,5 astetta. Koevuosien aikana yksikään kasvukausi ei jäänyt erityisen viileäksi eikä kasvusto kärsinyt hallasta. Vuonna 2009 lämpösummaa kertyi kasvukauden loppuun mennessä 1308 °C vrk, vuonna 2010 1474 °C vrk, vuonna 2011 1429 °C vrk ja vuonna 2012 1266 °C vrk.

Etenkin heinäkuun sademäärät vaihtelivat huomattavasti eri vuosina. Vuonna 2010 oli ennätysellisen kuiva heinäkuu, mikä näkyi mm. ohran jyvien ja nurmen toisen sadon korkeina kuiva-ainepitoisuuksina sekä ohran lyhytkortisuutena. Vuosina 2011 ja 2012 heinäkuu oli sitä vastoin sateinen, ja silloin vettä kertyi lähes kaksi kertaa niin paljon kuin keskimäärin. Vuonna 2012 myös kesäkuu oli hyvin sateinen.

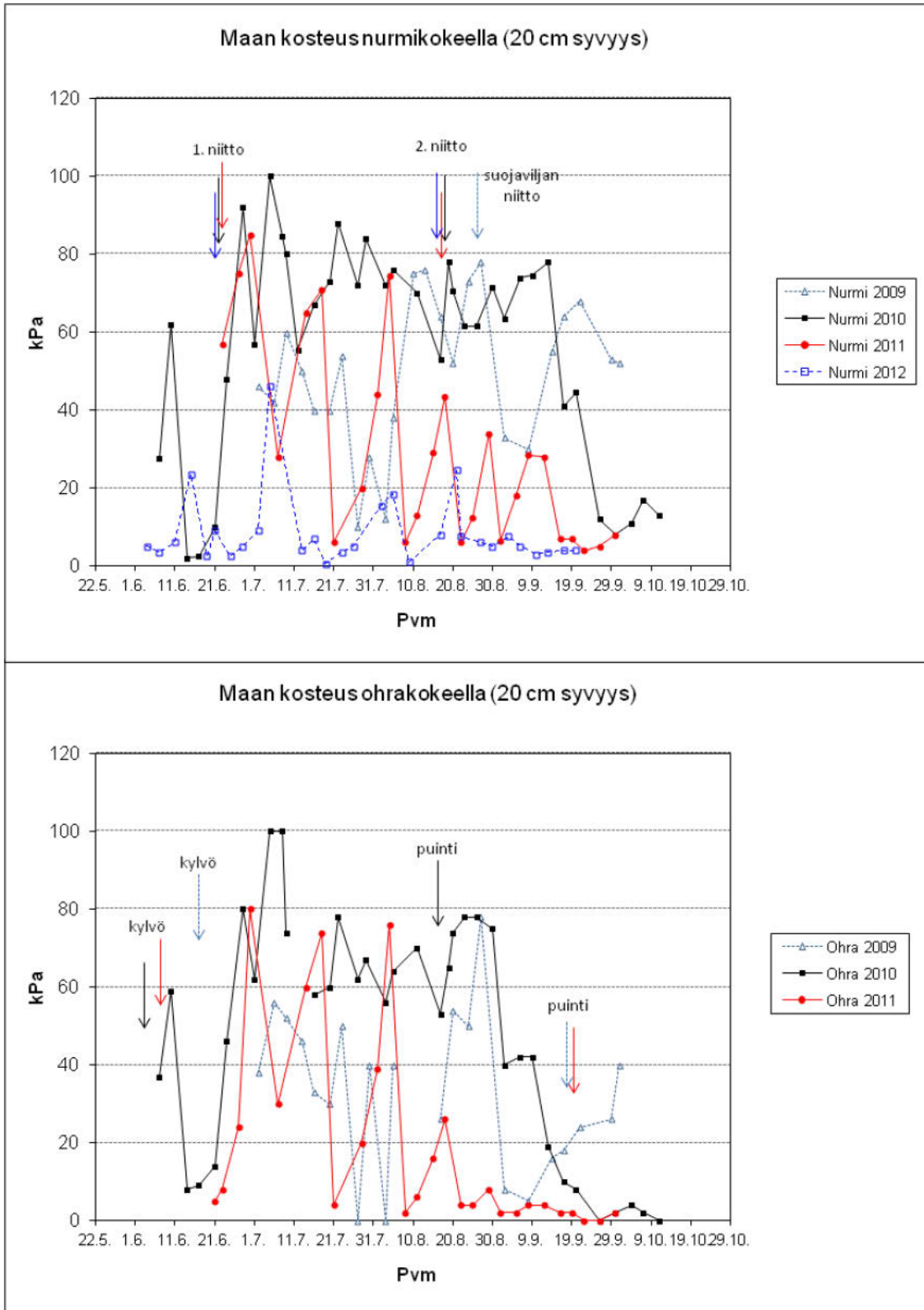
Lämpötilaa mittaavat anturit asennettiin joka vuosi hieman eri aikaan (Ks. luku 2.2). Maan lämpötila seurasi ilman lämpötilaa ja etenkin vuoden 2010 lämmin heinäkuu ja elokuun alkupuoli näkyivät selvästi myös maan lämpötiloissa (Kuva 5).

Maan kosteutta seurattiin välillisesti eli epäsuorasti mittaamalla maaveden painepotentiaali tensiometrien avulla (Kuva 6). Painemittarista luettiin alipaine (kPa) veden imeytyessä maahan. Mitä suurempi on paine, sitä kuivempi on maa. Vuonna 2009 tensiometrit asennettiin melko myöhään eikä alkukesän olosuhteista ole tarkkaa tietoa. Vuosi 2011 oli alkukesästä kuiva, mikä näkyy kuvissa korkeina piikkeinä. Loppukesällä vettä satoi runsaammin. Kesä 2010 oli kauttaaltaan kuiva, kun taas kesä 2012 oli sateinen ja maa kostea.

Tässä tutkimuksessa maan lämpötilaa ja kosteutta mitattiin ennen kaikkea typen mineralisaation ja nitrifikaation vuoksi. Mikrobeilla on keskeinen merkitys typen kierron prosesseissa, kuten mineralisaatiossa, immobilisaatiossa, nitrifikaatiossa ja denitrifikaatiossa. Mikrobiologisten reaktioiden suuntaan ja nopeuteen vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat maan kosteuden lisäksi mm. happipitoisuus, lämpötila ja pH.



**Kuva 5.** Maan lämpötila 5 cm:n syvydessä. Vuoden 2009 lämpötiläkäyrä on sama molemmissa kuvissa ja mitattu peltolohkolta, jossa kokeet sijaitsivat. Muiden vuosien käyrät on mitattu kummankin kokeen kohdalta erikseen.



**Kuva 6.** Tensiometreillä mitattu maaveden painepotentiaali 20 cm:n syvyydessä. Mitä suurempi alipaine, sitä kuivempi maa.



### 3.2. Koemaiden ominaisuudet

Koeruuduilla muokkauskerroksen (0–20 cm) maalaji oli joko multava tai runsasmultainen hiesravi (Taulukko 3). Suomessa maalajien nimeämisessä apuna käytettävässä maalajikolmiossa erotetaan mm. viljavuustutkimuksen yhteydessä hietasavista omaksi maalajikseen hiesravi (HeS), joka sisältää savesta 30–60, hiesua 20–50 % ja hietaa 20–50 % (Hartikainen 2009a). Ohrakokeissa koemaiden saven, hienon ja karkean hiesun sekä karkean hiedan osuudet olivat varsin samankaltaisia, mutta uudessa koepaikassa hienon hiedan osuus oli yli kaksinkertainen aiempaan koepaikkaan verrattuna. Nurmiruuduilla muokkauskerroksessa oli melko runsaasti orgaanista hiiltä ja kokonaistyppeä (Taulukko 4). Ohrakokeen osalta alkuperäisessä koepaikassa oli orgaanista hiiltä ja kokonaistyppeä lähes kaksi kertaa enemmän kuin uudessa koepaikassa. Nurmiruuduilla (2009–2012) muokkauskerroksen (0–20 cm) fosfori- ja kaliumluvut olivat viljavuusluokassa välttävä, kun ne olivat sekä kalsiumin (Ca) että magnesiumin (Mg) osalta tyydyttävässä ja pH:n osalta hyvässä luokassa. Ohraruuduilla kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet olivat molemmissa koepaikoissa tyydyttävällä tasolla. Alkuperäisellä koepaikalla maan viljavuustila oli fosforin (tyydyttävä), kaliumin (hyvä) ja pH:n (hyvä) suhteen 1–2 viljavuusluokkaa parempi kuin mitä se oli uudessa koepaikassa vuosina 2010–2011 (Viljavuuspalvelu Oy 2008).

**Taulukko 3.** Koealueiden muokkauskerroksen (0–20 cm) lajitekoostumus ja maalaji.

Lajite	Raekoko (mm)	Nurmi	Ohra	Ohra
		2009–2012	2009–2009	2010–2011
Lajitteiden osuus (massa-%)				
Saves (S)	<0,002	34	38	34
Hieno hiesu (HHs)	0,002–0,006	24	23	18
Karkea hiesu (KHs)	0,006–0,02	18	16	17
Hieno hietä (HHT)	0,02–0,06	11	10	23
Karkea hietä (KHT)	0,06–0,2	7	9	8
Hieno hiekka (HHk)	0,2–0,6	4	3	1
Karkea hiekka (KHk)	0,6–2	3	2	0
Hieno sora (HSr)	2–6	0	0	0
Karkea sora (KSr)	6–20	0	0	0
Orgaaninen aines (%)*		11,4 (rm)	10,0 (rm)	5,7 (m)
Maalaji		Hiесavi (HeS)	Hiесavi (HeS)	Hiесavi (HeS)

\*Orgaaninen aineksen pitoisuus (%) on laskettu orgaanisen hiilen pitoisuudesta käyttämällä muuntokerrointa 1,724. Ohra 2010–2011 koealueen orgaanisen hiilen pitoisuuksissa on käytetty syksyllä 2009 otettujen maanäytteiden lannoittamattoman 0 kg N/ha ruudun tuloksia.

**Taulukko 4.** Koealueiden muokkauskerroksen (0–20 cm) viljavuus kokeen alussa vuonna 2009. Keskiarvot yli kerranteiden (n=4). Ohra 2010–2011 tulokset on laskettu syksyllä otettujen maanäytteiden lannoittamattoman 0 kg N/ha -ruudun tuloksista.

Koealue	pH (H <sub>2</sub> O)	kok. N	org. C	K <sub>HAAC</sub>	P <sub>HAAC</sub>	Ca <sub>HAAC</sub>	Mg <sub>HAAC</sub>
		%	%				
Nurmi 2009–2012	6,3	0,38	6,6	173	5,8	2326	280
Ohra 2009	6,5	0,33	5,8	328	7,7	2448	329
Ohra 2010–2011	6,2	0,18	3,3	120	6,8	2223	230

### 3.3. Lietelannan ja käsittelyjäännöksen ominaisuudet

Karjanlanta koostuu kotieläinten ulosteista (sonta ja virtsa) ja niihin talteenoton yhteydessä sekoittuneista kuivikkeista, rehun tähteistä sekä pesu- ja sadevesistä. Ulosteiden ravinnesisältö ja -pitoisuus sekä ravinteiden jakautuminen sonnan ja virtsan kesken riippuvat ennen kaikkea ruokinnasta ja eläimen tuotantovaiheesta (Kempainen 1992). Lietelanta on lantaa, jossa sonta ja virtsa ovat sekoittuneet kuivikkeiden ja veden kanssa juoksevaan muotoon, ja sen kuiva-ainepitoisuus on alle 12 % (Christensen & Sommer 2013). Tässä tutkimuksessa käytettiin lypsykarjan lietelantaa ('raakalanta'), lietelannasta ja muista kasviperäisistä syötteistä muodostunutta biokaasulaitoksen käsittelyjäännöstä sekä siitä separoituja kuiva- ja nestejakeita. Käsittelyjäännös oli ensimmäisenä vuonna (2009) peräisin Kalmarin maitotilalta (Metener Oy, Laukaa) ja seuraavina kolmena vuonna Luke Maaningan maatilakohtaisesta biokaasulaitoksesta. Lietelanta oli peräisin Luke Maaningan tutkimuspihatosta lukuun ottamatta ensimmäistä koevuotta, jolloin käytössä oli Kalmarin maitotilalta peräisin oleva lietelanta. Perustamisvuonna 2009 käytettiin samoja lantaeräiä sekä ohralle että nurmen suojaviljalle, mutta muina vuosina lantanäytteet otettiin erikseen aina levityksen yhteydessä. Taulukossa 5 on esitetty tässä kokeessa käytetyn raakalannan, käsittelyjäännöksen ja siitä separoitujen jakeiden keskimääräiset ravinnepitoisuudet.

**Taulukko 5.** Raakalannan, käsittelyjäännöksen ja separointijakeiden keskimääräiset ravinnepitoisuudet. Ravinnepitoisuudet on ilmoitettu pitoisuutena tuoremassassa tonnia kohti (kg/tuoretonni). Keskiarvo ± keskiahajonta yli vuosien 2009–2012 ja molempien kokeiden. n=6, paitsi separoidulla kuivajakeella n=3.

Lantalaji	Kok. N kg N/t	Liuk. N kg N <sub>liuk</sub> /t	Liuk. N:Kok. N	Ka %	P kg P/t	K kg K/t
Raakalanta	3,0 ± 0,8	1,7 ± 0,3	0,57 ± 0,09	7,2 ± 2,7	0,50 ± 0,14	3,0 ± 0,7
Käsittelyjäännös	2,8 ± 0,4	1,7 ± 0,3	0,60 ± 0,14	4,7 ± 0,7	0,46 ± 0,08	3,7 ± 0,7
Separoitu kuiva osa	5,3 ± 0,3	1,6 ± 0,4	0,30 ± 0,06	25,8 ± 4,9	1,42 ± 0,51	3,0 ± 0,5
Separoitu neste	3,1 ± 0,8	1,7 ± 0,4	0,59 ± 0,18	3,8 ± 0,4	0,44 ± 0,07	3,4 ± 0,6

Tämän tutkimuksen raakalanta vastasi keskiarvoltaan lähes täsmälleen Viljavuuspalvelu Oy:n tilastojen mukaisia keskimääräisiä ravinnepitoisuuksia. Tarkastelujaksolla 2005–2009 naudon lietelannan keskimääräiset ravinnepitoisuudet Suomessa olivat 1,7 kg/t liukoista typpeä, 3,0 kg/t kokonaistyppeä, 0,5 kg/t fosforia ja 2,9 kg/t kaliumia (Viljavuuspalvelu Oy 2016). Naudon lietelannan keskimääräinen fosforipitoisuus oli puolta pienempi kuin Kempaisen (1989) tutkimuksessa (1,0 g P/kg; n=140, näyteaineisto kerätty tiloilta v. 1982), mikä selittyy rehujen fosforipitoisuuden pienentymisellä. Tässä tutkimuksessa naudon lietelannan liukoisen typen osuus kokonaistypestä oli vastaava kuin Kempaisen (1989) tutkimuksessa (liuk. N/Kok. N 0,56). Kuiva- ja nestejakeen ravinnepitoisuudet olivat samansuuntaisia Viljavuuspalvelu Oy:n tilastojen kuivikelannan ja virtsan keskimääräisten ravinnepitoisuuksien kanssa, mutta kuivajakeessa oli vähemmän kaliumia kuin kuivikelannassa (3,0 ja 5,0 kg/t), ja nestejakeessa selvästi enemmän fosforia kuin virtsassa (0,44 ja 0,1 kg/t; Viljavuuspalvelu Oy 2016). Koevuosien aikana raakalannan, käsittelyjäännöksen ja siitä separoitujen jakeiden ravinnepitoisuuksissa esiintyi ajallista vaihtelua levityskertojen välillä, mikä voi johtua mm. erilaisista eläimille syötetyistä rehuista, käytössä olleista kuivikkeista ja biokaasulaitoksen syötteistä sekä säiliöön johdetuista pesu- ja sadevesistä.

Tässä tutkimuksessa biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen kuiva-ainepitoisuus oli raakalantaa alhaisempi. Kun ravinnepitoisuuksia verrataan suoraan, olivat raakalannan ja käsittelyjäännöksen liukoisen typen keskimääräiset pitoisuudet hyvin samankaltaisia, mutta liukoisen typen osuus kokonaistypestä (liuk. N./kok. N -suhde) oli käsittelyjäännöksessä numeroarvoisesti hieman raakalantaa suurempi (Taulukko 5).

Koska raakalanta otettiin biokaasulaitoksen esisäiliöstä samaan aikaan, kun käsittelyjäännös otettiin jälkikaasualtaan jälkeisestä kokoomakaivosta, ei kokeen lieteanalyysien perusteella voi suo-

raan päätellä sitä, kuinka ravinnepitoisuudet ovat muuttuneet biokaasuprosessin aikana (viipymä: 24 vrk reaktori + 24 vrk jälkikaasuallas). Biokaasulaitokseen syötettiin lietteen lisäksi vuodesta riippuen myös makeistehtaan jätettä (2009), sipulijätettä (2010), ruokohelpisäilörehua (2011) tai timoteinurminatasäilörehua (2012), ja näiden syötteiden sisältämät ravinteet ovat osaltaan vaikuttaneet käsittelyjäännöksen koostumukseen. Tämän vuoksi kokeen raakalanta ja käsittelyjäännös eivät ole ominaisuuksiltaan suoraan verrattavissa, eivätkä niiden ammoniumtyypen pitoisuudet kerro prosessissa tapahtuvasta typen mineralisaatiosta.

Biotila-hankkeen kahdessa lietalannan käsittelykokeessa käsittelyjäännöksen ammoniumtyypen osuus kokonaistypestä ( $\text{NH}_4\text{-N/kok.N}$ ) oli 9 % ja 43 % suurempi kuin syötteessä. Lietalannan ja kasvimassan yhteiskäsittelykokeissa käsittelyjäännöksen suhdeluku oli 39–66 % korkeampi kuin syötteessä (Pyykkönen ym. 2013). Frostin & Gilkinsonin (2011) 27 kuukautta kestäneessä naudan lietalannan käsittelykokeessa käsittelyjäännöksen  $\text{NH}_4\text{-N/kok. N}$  -suhdeluku oli 17 % korkeampi kuin raakalantasyötteessä. Biotila-hankkeen maatilamittakaavan kokeissa käsittelyjäännöksen pH oli keskimäärin 7,3–7,6 ja raakalannan pH 6,8–7,3, ja käsittelyjäännöksen pH oli kokeiden aikana keskimäärin 0,3–0,8 yksikköä korkeampi kuin raakalantasyötteessä (Pyykkönen ym. 2013).

Käsittelyjäännöksestä separoitu nestejake noudatteli käsittelyjäännöksen ravinnepitoisuuksia, mutta sen kuiva-ainepitoisuus laski. Edullinen ruuvipuristinseparaattori ei pystynyt laskemaan nestejakeen fosforipitoisuutta kokeissa käytetyllä seulakoolla 0,75 mm, mikä oli odotettua, koska ruuvipuristimen heikommasta fosforinerottelukyvystä esimerkiksi linkoon verrattuna mainitsee esim. Hjorth (2009). Käsittelyjäännöksestä separoituun kuivajakeeseen jäi noin kolminkertainen määrä fosforia, mutta myös melkein kaksinkertainen määrä typpeä lähtöainekseen verrattuna, ja jakeen kuiva-ainepitoisuus nousi selvästi. Ravinnepitoisuuden selkeä nousu nostaa kuivajakeen rahallista arvoa n. 30 % verrattuna raakalantaan, kun laskuperusteena on typen osalta liukoinen tyyppi. Jos laskentaperusteena on kokonaistyyppi, on kuivajakeen arvo noin 80 % korkeampi kuin raakalietteen. Varsinkin jälkimmäinen mahdollistaa taloudellisesti pidemmän kuljetusmatkan.

Taulukossa 6 on esitetty tällä kokeella keskimäärin toteutuneet typen, fosforin ja kaliumin lannoitusmäärät eri lantalajeilla. Taulukosta nähdään, että ohralla käsittelyjäännöksen liukoisen typen määrä on keskimäärin jäänyt n. 12 kg/ha alhaisemmaksi kuin raakalannalla, kun taas nurmella määrät ovat lähellä toisiaan. Nurmella puolestaan nestejake-koejäsen sai selkeästi enemmän sekä liukoista typpeä että kokonaistyppeä kuin raakalantaa ja käsittelyjäännöstä saaneet ruudut. Tämän vuoksi satotuloksia onkin parempi verrata väkilannoitefunktion vastaavalla liukoisen typen määrällä eikä suoraan orgaanisia lannoitteita saaneita koejäseniä keskenään.

Vuosien ja eri levityskertojen välillä oli melko suurta vaihtelua levitysmäärien ja ravinnepitoisuuksien vuoksi samankin lantalajin sisällä. Tarkemmat vuosittaiset lannoituksessa saadut ravinnemäärät on esitetty satotulosten yhteydessä ohralle taulukoissa 10–12 ja nurmelle taulukoissa 17, 19, 21 ja 23.

**Taulukko 6.** Raakalannan, käsittelyjäännöksen ja separoitujen jakeiden sisältämät typen, fosforin ja kaliumin levitysmäärät (kg/ha/v). Ohrakokeella raakalannan ja käsittelyjäännökset arvot ovat kolmen vuoden keskiarvoja ja separoitujen jakeiden vuosien 2010 ja 2011 keskiarvoja. Nurmen osalta luvut ovat nurmivuosien 2010–2012 keskiarvoja.

<b>Ohra</b>					
Lantalaji	Levitysmäärä t/ha	Kok. N kg/ha	Liuk. N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha
Raakalanta	35	111	60	17	92
Käsittelyjäännös	34	101	48	16	114
Separoitu kuiva osa	16	82	22	19	48
Separoitu neste	25	76	36	11	85
Separoitu kuiva + neste	16+25	158	59	29	133

<b>Nurmi</b>					
Lantalaji	Levitysmäärä t/ha	Kok. N kg/ha	Liuk. N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha
Raakalanta	29	81	48	14	94
Käsittelyjäännös	26	72	50	11	105
Separoitu neste	50	163	101	21	178



**Kuva 7.** Käsittelyjäännöksestä separoitua a) kuivajaetta ja b) nestejaetta. Kuvat: Perttu Virkajärvi.

Orgaanisten lannoitteiden käyttömäärää rajaavat EU:n nitraattidirektiivi (Suomessa nitraattiasetus 1250/2014) sekä aiemmin ympäristötukijärjestelmä ja nykyisin ympäristökorvausjärjestelmä. Nitraattiasetuksen mukaan lannan vuotuinen kokonaistypen levitysmäärä ei saa ylittää 170 kg N/ha. Tämän kokeen alkumaanäytteiden mukaan lohko kuuluu fosforin suhteen valtaosin viljavuusluokkaan välttävä (Taulukko 4), jolloin aiemman ympäristötukijärjestelmän mukainen sallittu fosforilannoituksen määrä nurmella oli 24 kg P/ha ja ohralla 22 kg P/ha (ohra 4000 kg/ha satotasolla, satotasokorjausmahdollisuus +3 ja +6 kg P/ha; Mavi 2009). Ympäristötukijärjestelmän karjanlantapoikkeus olisi tosin mahdollistanut nurmella lannoitusmäärän 30 kg P/ha/v (Mavi 2009). Tässä kokeessa fosforilannoitus haluttiin rinnastaa väkilannoitefosforin määrään eli suhteuttaa se pitkän aikavälin suositukseen eikä karjanlantapoikkeukseen. Tämä ero on syytä ottaa huomioon tulosten tarkastelussa – toisin sanoen karjanlantapoikkeusta noudatettaessa fosforin määrä olisi rajoittanut levitystä vasta myöhemmin. Nykyisessä ympäristökor-

vausjärjestelmässä myös nurmella on mahdollista käyttää satotasokorjausta (Mavi 2015; Valtionneuvoston asetus 235/2015), jolloin yli 7500 kg ka/ha satotasolla saa lantapoikkeuksen tavoin nostaa lannoitusmäärän 30 kg P/ha. Uudessa järjestelmässä ohralla saa välttävissä viljavuusluokassa käyttää 16 kg P/ha 4000 kg/ha satotasolla, eikä lantapoikkeus salli määrän lisäämistä (Mavi 2015). Lannoitusmäärää voi nostaa satotasokorjauksella 19 tai 22 kiloon P/ha. Lantapoikkeusmahdollisuus on voimassa, jos fosforilannoituksessa käytetään ainoastaan kotieläinten lantaa.

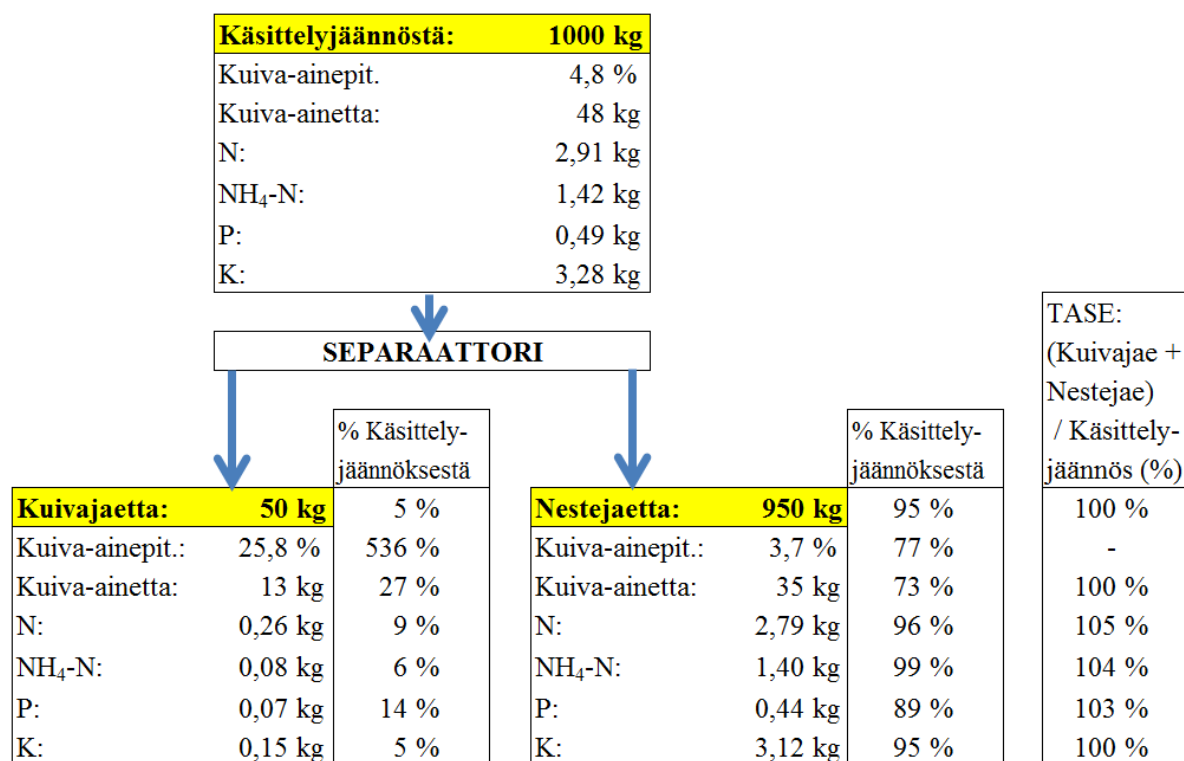
Taulukossa 7 on esitetty kunkin orgaanisen lannoitteen mukaiset maksimilevitysmäärät, jos kokonaistypen määräksi asetetaan 170 kg/ha tai fosforin määräksi 30 kg/ha (nurmi satotasokorjauksella) tai 16 kg (ohra). Satotasoina on käytetty kokeen aikana saatuja satoja, jolloin nurmi täytti satotasokorjauksen ehdot mutta ohra ei. Ravinнемäärät on laskettu tämän kokeen lieteanalyysien keskiarvojen perusteella (Taulukko 5). Lisäksi taulukossa esitetään sama laskelma naudnan lietelannan taulukkoarvolle (Mavi 2015). Nitraattiasetuksen mukaan rajattuna liukoisen typen määrät täsmäivät Kapuisen ym. (2008a) vastaavaan laskelmaan (raakalanta 97 kg/ha, käsittelyjäännös 103 kg/ha). Sen sijaan fosforin määrässä ei ollut eroa, toisin kuin Kapuisen ym. (2008a) tutkimuksessa, jossa käsittelyjäännöksen fosforimäärä oli alhaisempi kuin raakalannalla. Raakalannalla ja käsittelyjäännöksellä olisi tässä voitu antaa noin 100 kg/ha/v liukoista typpeä nitraattiasetuksen rajoissa, mutta ohralla fosforin määrä olisi tullut rajoittavaksi jo selvästi aiemmin. Mikäli maan fosforiluokka olisi hyvä, jolloin fosforia saa antaa vain 5 kg/ha/v ohralle ja 11 kg nurmelle satotasokorjausta käytettäessä, maksimilevitysmäärät olisivat jääneet n. 10 t/ha ja 23 t/ha. Kun tarkastellaan molempia rajoituksia yhtä aikaa, tässä tilanteessa nurmella typpi tulee ensin rajoittavaksi tekijäksi muulloin paitsi kuivajaetta käytettäessä. Uuden ympäristökorvausjärjestelmän mukaan ohralla fosfori tulee ensin rajoittavaksi tekijäksi kaikissa tapauksissa, kun satotasokorjausta ei käytetä. Kuivajakeen sallitut levitysmäärät jäävät varsin pieniksi sen sisältämän fosforin ja alhaisen liuk. N/kok. N -suhteen vuoksi (Taulukko 7).

**Taulukko 7.** Orgaanisten lannoitteiden maksimilevitysmäärät koalueella (P-luokka välttävä) nitraattiasetuksen ja ympäristökorvausjärjestelmän ehtojen mukaan rajattuna (kokonaistyyppi  $\leq 170$  kg/ha/v; fosfori  $\leq 30$  kg/ha/v nurmella satotasokorjattuna; fosfori  $< 16$  kg/ha/v ohra) tämän kokeen keskimääräisillä lietteen ravinnepitoisuuksilla (Taulukko 5) sekä naudnan lietelannan taulukkoarvolla (Mavi 2015).

Lantalaji	Levitysmäärän maksimi t/ha	Kok. N kg N/ha	Liuk. N kg N/ha	P kg P/ha	K kg K/ha
<b>Nitraattiasetuksen mukaan</b>					
Naudan lietelanta, taulukkoarvo	59	170	100	29	
Raakalanta	57	170	96	28	170
Käsittelyjäännös	61	170	103	28	225
Separoitu kuiva osa	32	170	51	46	96
Separoitu neste	55	170	93	24	186
<b>Ympäristökorvausjärjestelmän fosforirajoituksen mukaan, nurmi</b>					
Naudan lietelanta, taulukkoarvo	60	174	102	30	
Raakalanta	60	180	102	30	180
Käsittelyjäännös	65	183	111	30	241
Separoitu kuiva osa	21	112	34	30	63
Separoitu neste	68	211	116	30	232
<b>Ympäristökorvausjärjestelmän fosforirajoituksen mukaan, ohra</b>					
Naudan lietelanta, taulukkoarvo	32	93	54	16	
Raakalanta	32	96	54	16	96
Käsittelyjäännös	35	97	59	16	129
Separoitu kuiva osa	11	60	18	16	34
Separoitu neste	36	113	62	16	124

Viljavuuskaliumin määrä maassa oli välttävä tai hyvä (Taulukko 4). Suositusten mukaan kaliumlannoituksen määräksi riittäisi 110 kg K/ha/v (Yara 2012), mikä on huomattavasti vähemmän kuin maksimilevitysmäärillä annettava. Toisaalta nurmi otti kaliumia 200–300 kg/ha/v (Taulukot 31–33), joten tämän perusteella kaliumia ei näinkään suurilla lannoitusmäärillä jäisi käyttämättä ainakaan nurmiviljelyssä. Ohran kaliuminottoa ei tässä tutkimuksessa määritetty.

Kolmella separointikerralla tehtiin kuiva-aine- ja ravinneanalyysit molemmista jakeista. Kuiva-aineanalyysiin perustuvan massataselaskelman (ks. Aineisto ja menetelmät, kaava 1) mukaan käsittelyjäännöksen massasta erottui separoinnissa kuivajakeeseen 5 % ja vastaavasti 95 % nestejakeeseen. Kuivajakeeseen erottui keskimäärin 27 % alkuperäisen käsittelyjäännöksen kuiva-aineesta, 14 % fosforista, 9 % kokonaistypestä, 6 % liukoisesta typestä ja 5 % kaliumista (Kuva 8).



**Kuva 8.** Käsittelyjäännöksen kolmen separointikerran (seulakoko 0,75 mm) keskiarvoinen massa- ja ravinnetase: jakeisiin erottuvat kuiva-aineen ja ravinteiden kg-määrät separoitaessa 1000 kg käsittelyjäännöstä sekä muodostuvien jakeiden kg-määrien %-osuudet alkuperäisestä lietteestä. Tase (käsittelyjäännös = kuivajae + nestejae) ei täsmää täysin kaikilla ravinteilla, näytteenoton ja analyysien epätarkkuuksien vuoksi.

Ravinteiden huonoa erottumista selittää se, että esim. lannan kuiva-aineesta 60 %, kokonaistypestä 86 % ja kokonaisfosforista 94 % on alle 0,5 mm partikkeleissa (Chang & Rible 1975). Valtaosa (> 80 %) käsittelemättömän naudan lietalannan kokonaisfosforista ja -typestä voi Meyerin ym. (2007) mukaan olla hiukkaskooltaan jopa alle 0,125 mm olevassa fraktiossa. Käsittelyjäännöksessä pienten partikkeleiden osuus voi olla tätä suurempi biokaasuprosessin hajotettua lannan partikkeleita raakalantaa pienemmäksi. Pienet partikkelit pääsevät ruuvipuristimen puristusvoiman myötä läpi seulasta. Ruuvipuristimen erotustehokkuutta voidaan ehkä parantaa käyttämällä pienempää seulakokoa (esim. 0,5 tai 0,25 mm), mutta Vanottin ym. (2002) mukaan ainakin sian lietalannan painovoimaisessa seulonnassa alle 0,2 mm seulan käyttäminen aiheuttaa merkittäviä tukkeutumisoongelmia.

Myös separoitavan lietteen kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa massan ja ravinteiden erottumiseen. Separoitaessa raakalantaa tässä kokeessa käytetyllä separaattorilla ja seulakoolla kuivajaetta muodostui sitä enemmän, mitä suurempi oli separoitavan lietteen kuiva-ainepitoisuus. Lietteiden kuiva-

ainepitoisuuden kasvaessa myös ravinteista suurempi osa erottui kuivajakeeseen. Esimerkiksi separoitaessa kuiva-ainepitoisuudeltaan 9,9 % lietelantaa kuivajakeeseen erottui 33 % lietelannan kokonaismassasta, 37 % typestä ja 47 % fosforista (Pyykkönen ym. 2013). Hjorthin ym. (2010) kirjallisuuskatsauksen mukaan ruuvipuristimet ja muut painesuodatukseen perustuvat mekaaniset separaattorit (seulakoot 0,7–3,2 mm) erottavat sian ja naudan lietelantojen (ka-pitoisuudet 1,8–8,0 %) fosforista 7–46 % ja typestä 4–36 % kuivajakeeseen.

Ruuvipuristinta ja muita ”painesuodatukseen” perustuvia menetelmiä tehokkaampi ravinteiden erottaja on esimerkiksi kalliimpi ja enemmän energiaa kuluttava dekantterilinko. Hjorthin ym. (2010) mukaan dekantterilinko voi erottaa naudan ja sian lietelantojen fosforista 47–90 % ja typestä 13–49 % kuivajakeeseen, riippuen esimerkiksi lietelannan kuiva-ainepitoisuudesta, laitteen asetuksista ja lietteen partikkelikokojakaumasta. Ravinteiden erotustehokkuutta voidaan parantaa lisäämällä esimerkiksi polymeeria (yleensä kationinen polyakryyliamidi) tai koagulanttia (esim. rauta- tai alumiini-suolat) lietteeseen ennen mekaanista separointia (Gilkinson & Frost 2007, Hjorth 2009, Hjorth ym. 2010). Kemikaalilisäys yhdistettynä painovoimaiseen suodatukseen voi erottaa jopa 99 % fosforista kuivajakeeseen (Hjorth ym. 2010). Koagulanttien käyttö separoinnissa voi heikentää fosforin käyttökelpoisuutta kasveille. Käyttökelpoisuus riippuu kuitenkin mm. lietteen käsittelyprosessin sekä viljelysmaan pH- ja redox -olosuhteista (Wilfert ym. 2015). Suuri määrä polymeeriä nestemäisenä puolestaan voi lisätä nestejakeen määrää merkittävästi, kuten havaittiin Lantateko -hankkeessa tehdyissä sianlietteen linkokokeissa (Paavola ym. 2015).

### 3.4. Ohrakokeen satotulokset

Ohrakoe toteutettiin kolmena peräkkäisenä vuonna (2009–2011). Koejäseninä olivat raakalanta, käsittelyjäännös, jäännöksestä separoitu kuivajae, jota täydennettiin Suomensalpietarilla, sekä jäännöksestä separoitujen kuivajakeen ja nestejakeen yhdistelmä, jossa nestejakee levitettiin oraille. Viimeisimmän menetelmän tavoitteena oli pyrkiä vähentämään ammoniakkin ( $\text{NH}_3$ ) haihtumista. Ensimmäisenä vuonna täydennetty kuivajae -koejäsen ei toteutunut, koska kuivajae ei saatu separoitua tarpeeksi Laukaasta tuodusta käsittelyjäännöksestä. Koska orgaanisten lannoitteiden liukoisen typen määrää ei tiedetty levitysvaiheessa, niiden tuottamaa satovastetta eli liukoisen typen käyttökelpoisuutta suhteessa vastaavaan väkilannoitetyyppeen verrattiin väkilannoiteportaiden avulla muodostettujen väkilannoitefunktioiden avulla (Kuvat 10–12). Kuvissa näkyvät virhepalkit ovat 95 % luottamusvälit. Satotasot ja niihin liittyvät tilastollista merkitsevyyttä kuvaavat p-arvot esitellään myös taulukoissa 10–12. **Kuvien graafinen tulkinta antaa tarkemman kuvan typen hyväksikäytöstä kuin vastaavat taulukot, jotka puolestaan kertovat tarkemmin sadon muista ominaisuuksista.**

Kasvuunlähdon intensiteettiä mitattiin lehtialaindeksimittausten avulla vuonna 2009 kaksi kertaa ja vuonna 2010 yhden kerran (Taulukko 8). Lehtialaindeksi (LAI) kertoo, kuinka monta neliometriä lehtiä on yhtä neliometriä peltoa kohden. Vuoden 2009 ensimmäisellä mittauskerralla ei saatu eroja koejäsenten välille. Hajonta mittausten välillä oli todella suurta. Kolmisen viikkoa myöhemmin mittaukset tehtiin uudelleen. Tällöin havaittiin, että raakalannalla kasvuston määrä oli alhaisin ja erosi tilastollisesti merkitsevästi käsittelyjäännöksen saaneesta koejäsenestä. Typpiportaissa ei ollut nähtävissä loogista lehtialan kasvua lannoituksen lisääntyessä. Hajonta koeruutujen välillä oli edelleen varsin suurta. Vuonna 2010 mittaukset saatiin suoritettua huomattavan tarkasti edelliseen vuoteen verrattuna, ja LAI kasvoi typpilannoituksen noustessa. Orgaanisten lannoitteiden välille saatiin tilastollisesti merkitsevä ero täydennetyin kuivajakeen ja kuiva+ nestejakee -koejäsenen välille (LAI 1,9 ja 1,6). Nestejakee oli levitetty koeruuduille vain noin viikkoa aiemmin, joten voi olettaa, ettei nestejakeessa saatu typpi ollut vielä ehtinyt vaikuttaa kasvuun.

Virallisissa lajikekokeissa Voitto-ohran satotaso on ollut viljelyvyöhykkeellä III keskimäärin 4970 kg/ha (Laine ym. 2014). Tähän verrattuna satotaso jäi tällä kokeella varsin matalaksi. Vuonna 2009 15 % kosteuteen yhtenäistetty satotaso oli noin 4000 kg/ha. Sato oli melko hyvä, vaikka kylvöpäivä olikin myöhäinen (17.6.). Kylvön myöhästyminen johtui lietteenlevityslaitteiston vaatimista korjaustoimen-

piteistä. Kasvu aika ei jäänyt kuitenkaan liian lyhyeksi, sillä Voitto on kasvurytmiltään aikainen ja sääolosuhteet sallivat puinnin varsin myöhään (18.9.). Kasvusto myös orastui tasaisesti. Osa koeruudusta oli osittain laossa puintihetkellä. Väkilannoitefunktio käyttäytyi poikkeavasti, sillä korkeimmilla typpitasoilla sadonlisää ei enää tullut (Kuva 10). Orgaanisista lannoitteista käsittelyjäännös tuotti parhaimman lannoitusvasteen: satotaso oli suurempi kuin raakalanta- ja kuivajae + nestejakeojäsenillä (p-arvot 0,017 ja 0,014), vaikka liukaisen typen määrä oli matalin. Raakalanta ja kuivajae + nestejake -koejäsenten välillä ei ollut eroa. Käsittelyjäännös tuotti yhtä suuren sadon kuin vastaava väkilannoitteena annettu liukoinen typpi olisi tehnyt, mutta raakalanta- ja jakeet -koejäsenten sadot jäivät vain n. 80 %:iin vastaavasta väkilannoitteiden satotasosta (Taulukko 9).

Vuonna 2010 keskisato oli selvästi edellisvuotta alhaisempi, 2700 kg. Nyt mukana oli myös koejäsen, joka sai separoidun kuivajakeen ja lisäksi 40 kg N/ha Suomensalpietarina. Orgaaniset lannoitteet eivät yltäneet väkilannoitteilla saatuun satotasoon. Orgaanisilla lannoitteilla ei myöskään ollut keskinäisiä eroja sadon määrässä. Ilmeisesti orgaanisten lannoitteiden heikko menestys johtui poikkeuksellisen kuivasta kesästä, jolloin maan mikrobisto ei kyennyt normaaliin hajotustoimintaan. Kuivuudella oli todennäköisesti myös suora satoa pienentävä vaikutus.

Kolmantena vuonna 2011 ohran satotaso oli vain hieman edellisvuotta korkeampi; noin 2900 kg. Vuosien 2010 ja 2011 samankaltaisuus alhaisissa satotasossa näkyi myös Luke Maaningalla sijaitsevilla virallisten lajikekokeiden ohraruuduilla. Vuonna 2009 ohraruutujen keskimääräinen satotaso oli 7530 kg/ha, vuonna 2010 5320 kg/ha ja vuonna 2011 5890 kg/ha (julkaisematon). Lajikekokeilla ei ollut Voitto-ohraa. Vuonna 2011 väkilannoitefunktio oli hyvin samantapainen kuin vuonna 2010. Käsittelyjäännös ylsi samaan satotasoon vastaavan väkilannoitetasoon kanssa (Kuva 12), kuten vuonna 2009. Luottamusvälien perusteella raakalanta oli orgaanisista lannoitteista ainoa, jonka satotaso jäi selvästi väkilannoitteita huonommaksi. Tämä johtunee lähinnä siitä, että separoiduilla jakeilla lannoitetuilla koejäsenillä hajonta ruutujen välillä oli suurempaa kuin raakalannalla. Orgaanisten lannoitteiden välillä ei ollut keskinäisiä tilastollisesti merkitseviä eroja. Tilastollisessa testissä ei huomioida, että lannoitteiden liukaisen typen määrät poikkeavat toisistaan. Viljoissa oli vuonna 2011 yleisesti runsaasti lehtilaikkutauteja, mikä on saattanut myös alentaa satoa. Toisena syynä oli todennäköisesti kuivuus sekä voimakkaan kasvun vaiheessa että jyvien täyttymisvaiheessa (Kuva 6; vrt. alentunut hehtolitrapaino vuonna 2011). Koealue oli varsin poudanarkaa: silmämääräisesti tiivistä, ja maanalyyysin mukaan hiesun osuus oli suuri (Taulukko 3).

Hehtolitrapainot vaihtelivat enemmän vuosien kuin lannoitustasojen välillä (Taulukot 10–12). Vuonna 2009 keskimääräinen hehtolitrapaino oli 63,7 kg, johon sekä käsittelyjäännös että raakalanta ylsivät. Separoitu kuiva + neste -koejäsenen hehtolitrapaino oli alhaisin ja erosi tilastollisesti merkitsevästi raakalannan saaneesta koejäsenestä ( $p = 0,043$ ). Vuonna 2010 separoidulla kuivajakeella saavutettiin tilastollisesti merkitsevästi suurempi hehtolitrapaino kuin käsittelyjäännöksellä ( $p = 0,038$ ). Koejäsenten keskimääräinen hehtolitrapaino oli 64,8 kg. Viimeisenä koevuonna (2011) hehtolitrapainojen keskiarvo oli selvästi alhaisin (58,1 kg), mihin osaltaan vaikuttivat lehtilaikkutaudit ja ajoittainen kuivuus. Orgaanisilla lannoitteilla hehtolitrapainot olivat vielä tätäkin alhaisempia, eikä niiden välillä ollut eroja.

Tuhannen jyvän painot reagoivat selkeästi lannoitukseen ainakin vuosina 2009 ja 2011 siten, että korkeammilla väkilannoiteportailta jyvien paino oli korkeampi. Vuonna 2010 molemmat separointijake- koejäsenet tuottivat suuremmat tuhannen jyvän painot kuin raakalanta ( $p = 0,033$  ja  $p = 0,025$ ). Muutoin orgaanisten lannoitteiden välillä ei ollut keskinäisiä eroja.

Kasvuston korkeudessa ei ollut eroja orgaanisia lannoitteita saaneiden koejäsenten välillä. Vuosina 2010 ja 2011 väkilannoiteportaiden yläpäässä olevilla koejäsenillä oli korkeampi kasvusto kuin niillä, jotka saivat tyypeä vain vähän. Vuonna 2010 kasvuston keskimääräinen korkeus oli selvästi matalampi kuin muina vuosina, mikä johtunee kuivasta kesästä.

Väkilannoiteportaiden suureneminen näkyi sadon typpipitoisuudessa, mutta orgaanisten lannoitteiden välillä ei ollut keskinäisiä eroja. Vuosien välillä oli selkeitä eroja siten, että vuonna 2011 sadon typpipitoisuus oli korkein (25,2 g/kg ka) ja vuonna 2009 matalin (19,6 g/kg ka). Fosforin suh-



teen on huomattava, että sekä kuiva- että nestejakeen saanut koejäsen sai selvästi eniten fosforia lannoitteessa. Tämä näkyikin vuosina 2010 ja 2011 suurimpana sadon fosforipitoisuutena (4,45 g/kg ka ja 4,93 g/kg ka). Kuiva- ja nestejakeen saaneella koejäsenellä oli vuonna 2010 korkeampi sadon fosforipitoisuus kuin raakalanta-koejäsenellä ( $p = 0,023$ ) ja vuonna 2011 korkeampi kuin käsittelyjäännöstä ja kuivajaetta saaneilla koejäsenillä ( $p = 0,008$  ja  $p = 0,008$ ).

Kolmivuotisen kokeen perusteella voidaan todeta, että käsittelyjäänöksellä saavutettiin viljelylisiä hyötyjä raakalantaan verrattuna. Käsittelyjäänöksen liukoisen typen hyväksikäyttö oli keskimäärin 98 % väkilannoitetyyppeen verrattuna, mikä oli selvästi korkeampi kuin raakalannan (keskimäärin 85 %). Vuosi 2010 oli hyvin kuiva, jolloin käsittelyjäänöksellä saavutettu sato jäi noin 300 kg/ha vastaavaa väkilannoitetasoa heikommaksi. Käsittelyjäänös oli juoksevaa ja tasalaatuista. Näin ollen sen levittäminen on helpompaa ja lannoitevaikutus tasainen.

Muissa tutkimuksissa käsittelyjäänöksen lannoitusvaikutuksesta raakalantaan verrattuna on saatu ristiriitaisia tuloksia (Möller & Müller 2012). Raakalantaa parempi lannoitusvaikutus ja suurempi satotaso on osoitettu useissa astiakokeissa. Sen sijaan peltokokeissa tulokset ovat olleet vaihtelevia, eikä eroa useinkaan ole voitu osoittaa. Mm. Möller ym. (2008) tutkivat naudan raakalannan, naudan lannasta peräisin olevan käsittelyjäänöksen sekä naudanlannasta ja kasvibiomassasta peräisin olevan käsittelyjäänöksen lannoitusvaikutusta eri kasvilajeilla. Syysrukiilla ei havaittu eroa sato-tasossa. Syysvehnällä kasvibiomassaa sisältävä käsittelyjäänös, joka sisälsi enemmän liukoista typpeä, tuotti korkeamman sadon kuin muut kaksi lannoitusta. Ainoastaan kevätevehnällä saatiin ero raakalannan ja vain lantaa sisältävän käsittelyjäänöksen välille (3760 kg/ha ja 4170 kg/ha). Selityksenä mainitaan, että toisin kuin syksyllä kylvetyillä viljoilla, kevätevehnällä käsittelyjäänös mullattiin peltoon pintalevityksen jälkeen. Tulos on looginen, sillä kevätiljoilla typen liukoisuus on tärkeää.

Möller & Müller (2012) pohtivat syitä erilaisiin tuloksiin kokeiden välillä. Lietteen levitystapa on yksi merkittävä tekijä, sillä se vaikuttaa oleellisesti ammoniakkipäästöihin eli typen hävikkiin. Lietteen sijoittaminen vähentää ammoniakkipäästöjä selvästi (Mattila & Joki-Tokola 2003). Käsittelyjäänöksellä tämä korostuu, sillä sen raakalantaa korkeampi ammoniumtypen osuus ja korkeampi pH lisäävät ammoniakkin haihduntaa (Möller & Müller 2012). Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että sijoittamalla käsittelyjäänös saadaan korkeampia satoja kuin pintaan levittämällä (mm. Kapuinen ym. 2008a, Laukkanen 2012). Astiakokeissa päästöt voivat olla vähäiset, sillä liete yleensä sekoitetaan välittömästi maahan (Möller & Müller 2012). Peltokokeissa levitystapa vaihtelee kokeiden välillä.

Toiseksi syyksi astia- ja peltokokeiden väliseen eroon Möller & Müller (2012) esittävät astiakokeiden rajallisemman kasvuajan ja maa-aineksen pienen tilavuuden. On mahdollista, että peltokokeissa suurempi osa raakalannan orgaanisesta tyyppistä ehtii muuttua kasveille käyttökelpoiseksi.

Käsittelyjäänöksen ravinnepitoisuus ja sitä kautta lannoitusvaikutus riippuu sen lähtömateriaalista. Joissakin kokeissa on vertailtu raakalantaa sekä vain raakalannasta peräisin olevaa käsittelyjäänöstä. Toisinaan, kuten meidän kokeessamme, biokaasulaitokseen on syötetty lannan lisäksi muitakin syötettä, kuten erilaisia kasvimassoja. Myös lannan koostumus vaikuttaa.

Suomessa on tehty joitakin käsittelyjäänöksen lannoitusvaikutustutkimuksia viljoilla. Kapuinen ym. (2008b) tutkivat käsittelyjäänöksen ja raakalannan lannoitusvaikutusta ohralla, mutta kokeessa käytettiin sianlantaa. Kun liukoisen typen määrä oli täsmälty samaksi, käsittelyjäänös tuotti 2,5–17,4 % korkeamman sadon kuin raakalanta, levitysmenetelmien ja vuosien välillä vaihdellen. Iivonen ym. (2013) havaitsivat yksivuotisessa kokeessa naudan liettelannasta ja nurmibiomassasta peräisin olevan käsittelyjäänöksen tuottavan suuremman satovasteen kuin raakalanta kevätevehnällä. Kokeen tulosten tulkintaa vaikeuttaa se, että käsittelyjäänöstä levitettiin huomattavasti vähemmän kuin raakalantaa, jolloin sen liukoisen typen osuus jäi selvästi pienemmäksi kuin raakalannalla. Kaikki lannoituskäsittelyt, sisältäen tavanomaisen NPK- lannoituksen - lannoittamatonta kontrolliruutua lukuun ottamatta tuottivat yhtä suuren sadon riippumatta liukoisen typen määrästä, jolloin käsittelyjäänöksen paremmuus perustuu siihen, että se tuotti yhtä suuren sadon huomattavasti pienemmällä liukoisen typen määrällä (Iivonen ym. 2013). Tuloksiin saattaa vaikuttaa lähinnä kuivuudesta johtuva matalahko satotaso (< 3000 kg/ha).

Separoinnista aiheutuva kuljetuksellinen hyöty jäi vähäiseksi, koska nesteosaan jäi runsaasti fosforia. Niinpä nestejakeen käyttäminen typpilannoitteena nykyisten (2016) säännösten mukaan on melko vaikeaa (fosforirajoitus). Kuivajae sisälsi fosforia kolminkertaisesti nestemäisiin jakeisiin nähden. Se siis sopii perustamisvaiheen lannoitukseen, mutta vain sellaisille lohkoille, joille voidaan levittää karjanlannan fosforia. Levitysmäärä voi olla kerralla suurempikin kuin tässä kokeessa käytetty, jos otetaan fosforin tasejakso huomioon. Separoidusta kuivaosasta tai kuivaosan ja myöhemmin levitetyn nesteosan yhdistelmästä ei näyttänyt olevan ohralle erityistä hyötyä. Koejäsen onkin viljan tapauksessa hieman teoreettinen, sillä viljelytekniisesti kahden eri jakeen levittäminen on kallista. Sadot eivät vastanneet liukoisen typen määrää ja ravinteita jäi peltoon suuret määrät.

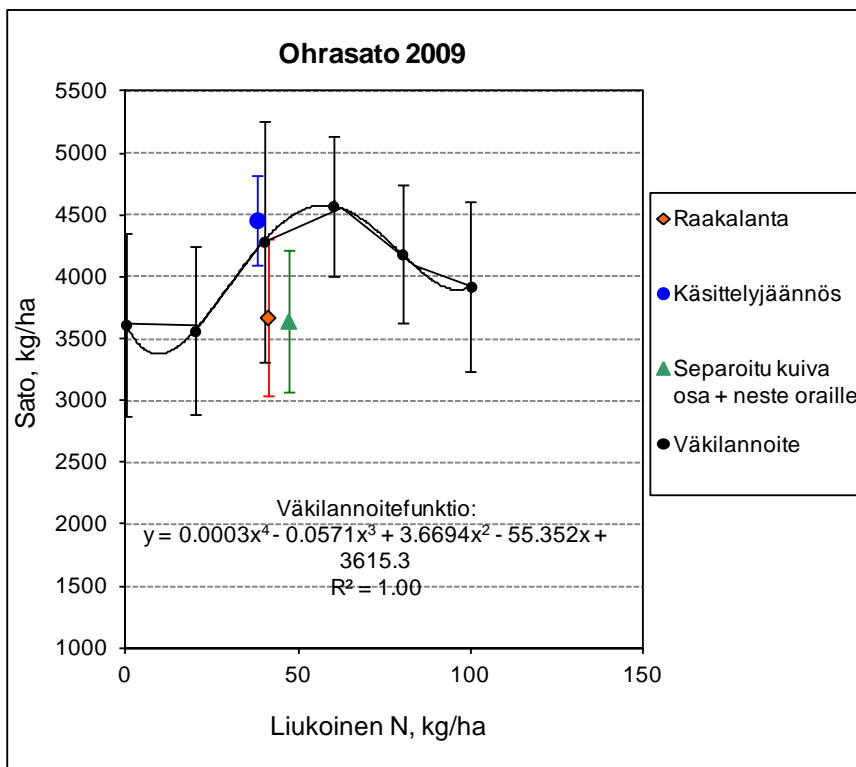
Mikäli tarkasteltaisiin pelkästään säiden vaikutusta, vuoden 2009 kasvupaikka ja sääolosuhteet olivat suotuisimmat. Kuivuus vaivasi viljaa vuonna 2010 ja satojen perusteella voidaan päätellä, että orgaaniset lannoitteet eivät ole väkilannoitteiden veroisia kuivana vuonna. Vuosi 2011 oli tavallinen säiden suhteen, vettä ja lämpöä riitti, lukuun ottamatta alkukesän lyhyttä mutta kriittisessä vaiheessa ollutta kuivuusjaksoa. Mahdollisesti koepaikka ei ollut paras mahdollinen, koska kaikkien koejäsenten satotaso jäi alhaiseksi. Nestejakeen 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 tai sen hävikki oli toivottua suurempi.

**Taulukko 8.** Lehtialaindeksi (LAI) -mittaukset ohran kasvuvaiheessa. Lukema kertoo, montako neliometriä lehtiä on yhtä neliometriä maata kohden.

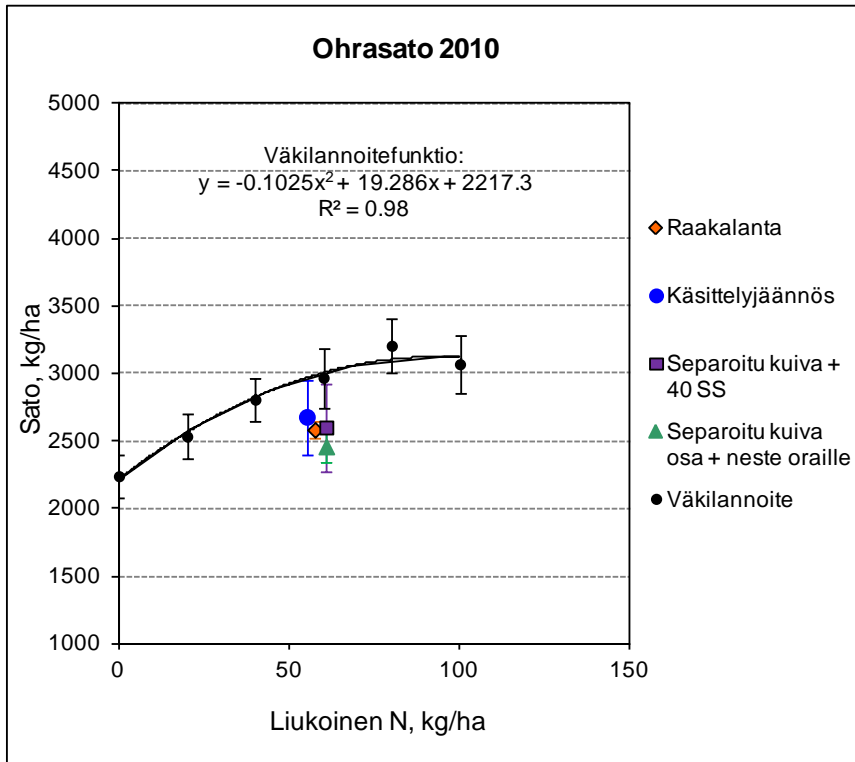
Lannoitus	2009		2010
	16.7.	7.8.	8.7.
Raakalanta	1,9	1,6	1,7
Käsittelyjäännös	1,9	2,3	1,7
Separoitu kuiva + 40 SS			1,9
Separoitu kuiva osa + neste oraille	1,1	2,2	1,6
Väkilannoite 0 N	1,7	1,9	1,5
Väkilannoite 20 N	0,8	2,3	1,7
Väkilannoite 40 N	1,5	1,8	2,0
Väkilannoite 60 N	1,7	2,9	2,0
Väkilannoite 80 N	1,3	1,9	2,1
Väkilannoite 100 N	2,5	2,3	2,2
<b>Keskiarvo</b>	<b>1,6</b>	<b>2,1</b>	<b>1,8</b>
Keskiarvon keskivirhe	0,45	0,24	0,07
p-arvo	0,20	<b>0,012</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös		<b>0,026</b>	
Sep. kuiva + 40 SS vs. sep. kuiva + neste			<b>0,021</b>



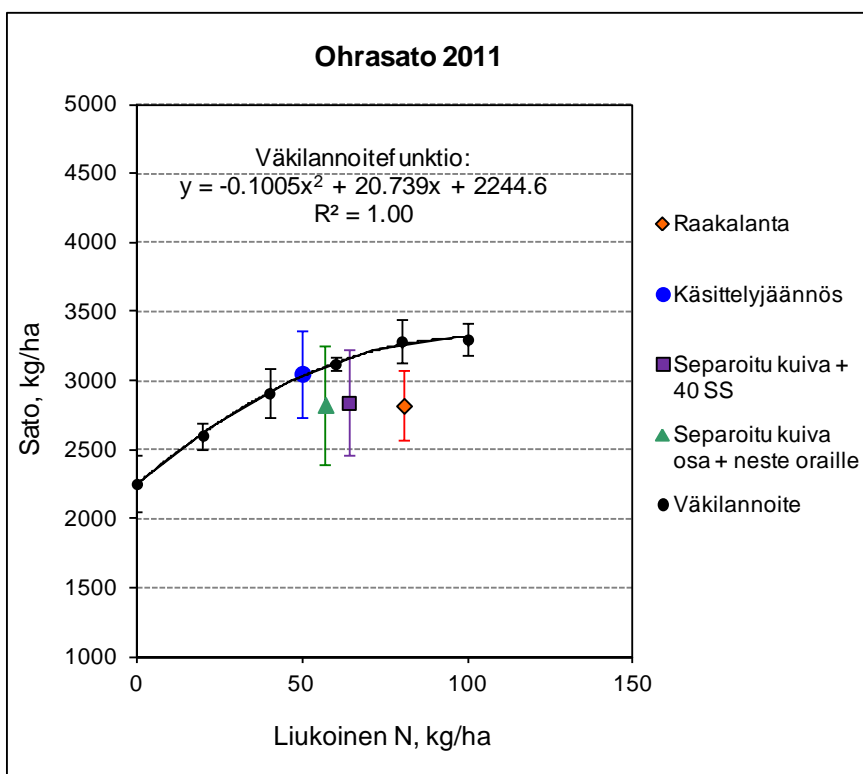
**Kuva 9.** Ohrakasvusto nestejakeen levityshetkellä vuonna 2009. Kuva: Jyri-Pekka Lemettinen.



**Kuva 10.** Ohran jyväsato (15 % kosteus) vuonna 2009 suhteessa annettuun liukoiseen tyypeen. Virhepalkit ovat 95 % luottamusvälit.



**Kuva 11.** Ohran jyväsato (15 % kosteus) vuonna 2010 suhteessa annettuun liukoiseen tyypeen. Virhepalkit ovat 95 % luottamusvälit.



**Kuva 12.** Ohran jyväsato (15 % kosteus) vuonna 2011 suhteessa annettuun liukoiseen tyypeen. Virhepalkit ovat 95 % luottamusvälit.

**Taulukko 9.** Suhdeluvut: kuinka monta prosenttia kukin käsittely tuotti satoa verrattuna vastaavaan väkilannoitteena annettuun liukoiseen tyypeen.

<b>Lannoitus</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>keskimäärin</b>
Raakalanta	83	87	86	85
Käsittelyjäännös	104	90	101	98
Separoitu kuiva + 40SS	-	86	90	88
Separoitu kuiva + neste	78	82	91	84
Väkilannoite	100	100	100	100

**Taulukko 10.** Ohrakokeen lannoitus ja satotulokset vuonna 2009. Hlp = hehtolitraino, Tjp = tuhannen jyvän paino. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

Ohra 2009													
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Sato (15%)	Suhde- luku	Hlp kg	Tjp g	Pituus cm	N g/kg ka	P
		kg/ha											
1	Raakalanta	29	75	41	16	81	3674	102	64,0	40,8	67	19,1	4,09
2	Käsittelyjäännös	25	69	38	14	77	4460	123	63,7	42,6	72	19,2	4,07
*													
4	Separoitu kuiva + neste oraille	3+27	90	47	20	92	3646	101	63,0	42,5	66	19,1	4,04
5	Väkilannoite 0 N		0	0	15	60	3615	100	63,4	41,1	65	18,8	3,95
6	Väkilannoite 20 N		20	20	15	60	3563	99	63,4	42,7	65	18,8	4,15
7	Väkilannoite 40 N		40	40	15	60	4286	119	63,8	43,7	71	19,4	4,02
8	Väkilannoite 60 N		60	60	15	60	4574	127	63,8	43,7	71	19,9	3,88
9	Väkilannoite 80 N		80	80	15	60	4184	116	64,3	42,6	69	20,9	3,78
10	Väkilannoite 100 N		100	100	15	60	3922	109	64,1	44,4	69	21,3	3,78
Keskiarvo							<b>3992</b>		<b>63,7</b>	<b>42,7</b>	<b>68</b>	<b>19,6</b>	<b>3,97</b>
Keskiarvon keskivirhe							336,7		0,32	0,68	2,8	0,25	0,112
p-arvot							<b>0,011</b>		0,20	<b>0,009</b>	0,19	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,011</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös							<b>0,017</b>		0,55	0,055	0,17	0,70	0,85
Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste							<b>0,014</b>		0,14	0,94	0,072	0,68	0,82
Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste							0,93		<b>0,043</b>	0,063	0,64	0,98	0,68

\* Koejäsen 3 ei toteutunut.

**Taulukko 11.** Ohrakokeen lannoitus ja satotulokset vuonna 2010. Hlp = hehtolitraino, Tjp = tuhannen jyvän paino. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

Ohra 2010													
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Sato (15%)	Suhde- luku	Hlp kg	Tjp g	Pituus cm	N	P
		kg/ha							g/kg ka				
1	Raakalanta	38	92	58	11	69	2585	115	64,6	38,3	47	22,3	4,23
2	Käsittelyjäännös	37	92	55	15	106	2681	120	64,4	39,7	48	22,2	4,33
3	Separoitu kuiva + 40 SS	16	123	61	15	40	2602	116	64,9	40,2	47	22,7	4,40
4	Separoitu kuiva + neste oraille	16+25	151	61	24	118	2461	110	64,8	40,1	46	22,2	4,45
5	Väkilannoite 0 N		0	0	15	60	2241	100	65,7	39,8	45	20,9	4,35
6	Väkilannoite 20 N		20	20	15	60	2536	113	65,4	39,5	48	21,7	4,30
7	Väkilannoite 40 N		40	40	15	60	2808	125	64,4	39,2	48	22,2	4,13
8	Väkilannoite 60 N		60	60	15	60	2970	133	64,6	40,0	50	23,7	4,10
9	Väkilannoite 80 N		80	80	15	60	3207	143	65,0	40,8	52	23,8	3,95
10	Väkilannoite 100 N		100	100	15	60	3071	137	64,7	39,6	50	24,4	3,77
Keskiarvo							<b>2716</b>		<b>64,8</b>	<b>39,7</b>	<b>48</b>	<b>22,6</b>	<b>4,20</b>
Keskiarvon keskivirhe							118,7		0,24	0,73	1,6	0,54	0,090
p-arvot							<b>&lt;0,001</b>		<b>&lt;0,001</b>	0,25	<b>0,032</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös							0,51		0,37	0,094	0,61	0,84	0,29
Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste							0,14		0,090	0,61	0,52	0,96	0,19
Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste							0,40		0,40	<b>0,033</b>	0,90	0,88	<b>0,023</b>
Raakalanta vs. separoitu kuiva							0,90		0,21	<b>0,025</b>	0,70	0,41	0,072
Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva							0,59		<b>0,038</b>	0,53	0,90	0,31	0,43
Separoitu kuiva vs. separoitu kuiva + neste							0,34		0,67	0,90	0,61	0,33	0,60

**Taulukko 12.** Ohrakokeen lannoitus ja satotulokset vuonna 2011. Hlp = hehtolitrapaino, Tjp = tuhannen jyvän paino. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

Ohra 2011													
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann kg/ha	K-lann	Sato (15%)	Suhde- luku	Hlp kg	Tjp g	Pituus cm	N g/kg ka	P
1	Raakalanta	37	165	81	24	125	2820	125	57,2	38,0	54	25,6	4,85
2	Käsittelyjäännös	42	142	50	20	159	3052	135	57,5	40,2	56	25,7	4,70
3	Separoitu kuiva + 40 SS	16	120	64	22	56	2841	126	57,5	38,5	56	25,1	4,70
4	Separoitu kuiva + neste oraille	16+25	165	57	34	149	2826	125	57,8	38,6	54	25,5	4,93
5	Väkilannoite 0 N		0	0	15	60	2255	100	56,8	37,6	52	25,1	4,80
6	Väkilannoite 20 N		20	20	15	60	2605	116	57,8	38,8	54	23,9	4,80
7	Väkilannoite 40 N		40	40	15	60	2911	129	58,9	39,9	57	24,7	4,65
8	Väkilannoite 60 N		60	60	15	60	3122	138	58,9	41,9	59	25,0	4,65
9	Väkilannoite 80 N		80	80	15	60	3287	146	59,4	42,6	61	25,3	4,58
10	Väkilannoite 100 N		100	100	15	60	3300	146	59,4	42,5	63	25,9	4,48
Keskiarvo							<b>2902</b>		<b>58,1</b>	<b>39,9</b>	<b>57</b>	<b>25,2</b>	<b>4,71</b>
Keskiarvon keskivirhe							126,4		0,27	0,83	1,5	0,39	0,056
p-arvot							<b>&lt;0,001</b>		<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös							0,13		0,36	0,051	0,41	0,74	0,066
Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste							0,14		0,58	0,14	0,35	0,55	<b>0,008</b>
Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste							0,96		0,15	0,61	0,91	0,79	0,35
Raakalanta vs. separoitu kuiva							0,88		0,36	0,67	0,56	0,19	0,066
Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva							0,16		1,00	0,12	0,81	0,11	1,00
Separoitu kuiva vs. separoitu kuiva + neste							0,92		0,58	0,93	0,48	0,30	<b>0,008</b>



### 3.5. Ohrakokeen ravinnetaseet

Ravinnetaseet on laskettu ravinteiden kokonaismäärien perusteella (annetut ravinteet – sadossa poistuneet ravinteet). Ne kuvaavat, kuinka tehokkaasti kasvi on käyttänyt hyödykseen sille annetut ravinteet. Tavoitteena on, ettei maahan kerry pidemmällä aikavälillä runsaasti hyödyntämättä jääviä ravinteita, jolloin riski niiden huuhtoutumiselle kasvaa. Maata ei voi myöskään pitkään viljellä negatiivisilla N- ja P-taseilla sen köyhtymättä. Toisaalta köyhtyminen fosforin suhteen ei kuitenkaan ole haitallista, jos maan P-luku on korkea.

Taulukoissa 13–15 esitetyt N- ja P-sadot on laskettu kertomalla sadot jyvien N- ja P-pitoisuuksilla. Aiemmin havaittiin, ettei vuonna 2009 orgaanisilla lannoitteilla ollut eroa sadon ravinnepitoisuuksissa, joten erot N- ja P-sadoissa johtuvat eroista satomäärässä. Vuosina 2010 ja 2011 orgaanisten lannoitteiden välillä ei ollut eroa N- ja P-sadoissa.

Ravinnetaseet (N, P) laskettiin vähentämällä lannoitteessa olleen kokonaisravinteiden määrästä sadon mukana poistuneen ravinteiden määrä (eli N- tai P-sato). Orgaanisten lannoitteiden välillä oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ero lähes kaikissa tapauksissa ( $p < 0,001$ ). Tämä selittyy sillä, että koejäsenten välillä oli selviä eroja lannoitteena annetun kokonaistypen ja fosforin määrissä. Orgaanisilla lannoitteilla sekä typpi- että fosforitaseet jäivät selvästi positiivisiksi lukuun ottamatta vuoden 2009 käsittelyjäännöstä. Suurimmat N- ja P-taseet olivat koejäsenellä, joka sai sekä kuiva- että nestejakeen, paitsi vuonna 2011, jolloin raakalanta-koejäsenen ylsi samaan N-taseeseen. Käsittelyjäännöksellä oli lähes aina matalin N-tase, eli ohra pystyi hyödyntämään sen sisältämän typen parhaiten. Muutoin orgaanisten lannoitteiden taseiden keskinäinen suuruusjärjestys vaihteli vuosittain, sillä lietteen ravinnepitoisuudet ja sitä kautta annetun lannoituksen määrä vaihteli. Typen hyväksikäyttöä heikensi se, että vain noin puolet orgaanisten lannoitteiden tuestä oli liukoisessa muodossa.

Väkilannoiteportailta typpitase kasvoi lannoitteessa annetun typen määrän kasvaessa: se oli pienillä lannoitemäärillä negatiivinen, saavutti 0-taseen noin 60–80 kg väkilannoite-N/ha tasolla ja oli sen jälkeen positiivinen, suurimmillaankin vain 26–36 kg/ha. Taseesta nähdään, että 80 kg typpeä hehtaaria kohden oli riittävästi pitämään taseen positiivisena suurillakin sadoilla. Fosforitaseet olivat negatiivisia vain vuonna 2009 kahdella koejäsenellä (käsittelyjäännös ja väkilannoite 60 N). Fosforista ei siis ollut puutetta. Kaikkein korkein P-tase oli kuivajae + neste oraille yhdistelmää käytettäessä.



**Kuva 13.** a) Raakalannan ja käsittelyjäännöksen levitys. b) Koeruutuja vuonna 2009. Kuvat Perttu Virkajärvi.

**Taulukko 13.** Ohran typpi- ja fosforisadot ja -taseet vuonna 2009. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>Ohra 2009</b>										
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	kg/ha				
						Sato (15%)	N-sato	P-sato	N-tase	P-tase
1	Raakalanta	29	75	41	16	3674	59,6	12,7	15,4	3,3
2	Käsittelyjäännös	25	69	38	14	4460	72,7	15,4	-3,7	-1,4
*										
4	Separoitu kuiva + neste oraille	3+27	90	47	20	3646	59,0	12,4	31,0	7,6
5	Väkilannoite 0 N		0	0	15	3615	57,8	12,1	-57,8	2,9
6	Väkilannoite 20 N		20	20	15	3563	56,7	12,6	-36,7	2,4
7	Väkilannoite 40 N		40	40	15	4286	70,4	14,6	-30,4	0,4
8	Väkilannoite 60 N		60	60	15	4574	77,1	15,1	-17,1	-0,1
9	Väkilannoite 80 N		80	80	15	4184	74,4	13,4	5,6	1,6
10	Väkilannoite 100 N		100	100	15	3922	70,8	12,6	29,2	2,4
Keskiarvo						<b>3992</b>	<b>66,5</b>	<b>13,4</b>	<b>-7,2</b>	<b>2,1</b>
Keskiarvon keskivirhe						336,7	5,22	1,10	5,22	1,10
P-arvot						<b>0,011</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,006</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös						<b>0,017</b>	<b>0,014</b>	<b>0,008</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste						<b>0,014</b>	<b>0,011</b>	<b>0,003</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste						0,93	0,91	0,74	<b>0,004</b>	<b>&lt;0,001</b>

\* Koejäsen 3 ei toteutunut.

**Taulukko 14.** Ohran typpi- ja fosforisadot ja -taseet vuonna 2010. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>Ohra 2010</b>										
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	Sato (15%) kg/ha				
						N-sato	P-sato	N-tase	P-tase	
1	Raakalanta	38	92	58	11	2585	48,9	9,3	43,0	1,4
2	Käsittelyjäänös	37	92	55	15	2681	50,6	9,8	41,2	5,2
3	Separoitu kuiva + 40 SS	16	123	61	15	2602	50,4	9,7	72,8	5,0
4	Separoitu kuiva + neste oraille	16+25	151	61	24	2461	46,4	9,3	104,3	14,9
5	Väkilannoite 0 N		0	0	15	2241	39,8	8,3	-39,8	6,7
6	Väkilannoite 20 N		20	20	15	2536	46,7	9,3	-26,7	5,7
7	Väkilannoite 40 N		40	40	15	2808	53,0	9,9	-13,0	5,1
8	Väkilannoite 60 N		60	60	15	2970	59,9	10,3	0,1	4,7
9	Väkilannoite 80 N		80	80	15	3207	64,7	10,8	15,3	4,2
10	Väkilannoite 100 N		100	100	15	3071	63,8	9,8	36,2	5,2
Keskiarvo						<b>2716</b>	<b>52,4</b>	<b>9,6</b>	<b>23,3</b>	<b>5,8</b>
Keskiarvon keskivirhe						118,7	3,17	0,43	3,17	0,43
P-arvot						<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,008</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäänös						0,51	0,64	0,29	0,62	<b>&lt;0,001</b>
Käsittelyjäänös vs. separoitu kuiva + neste						0,14	0,26	0,31	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste						0,40	0,51	0,97	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. separoitu kuiva						0,90	0,67	0,42	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Käsittelyjäänös vs. separoitu kuiva						0,59	0,96	0,80	<b>&lt;0,001</b>	0,76
Separoitu kuiva vs. separoitu kuiva + neste						0,34	0,28	0,44	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>

**Taulukko 15.** Ohran typpi- ja fosforisadot ja -taseet vuonna 2011. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>Ohra 2011</b>										
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	Sato (15%)	N-sato	P-sato	N-tase	P-tase
1	Raakalanta	37	165	81	24	2820	61,3	11,6	103,9	12,6
2	Käsittelyjäänös	42	142	50	20	3052	66,7	12,2	75,1	7,4
3	Separoitu kuiva + 40 SS	16	120	64	22	2841	60,6	11,3	59,4	11,1
4	Separoitu kuiva + neste oraille	16+25	165	57	34	2826	61,3	11,8	103,7	22,6
5	Väkilannoite 0 N		0	0	15	2255	48,1	9,2	-48,1	5,8
6	Väkilannoite 20 N		20	20	15	2605	53,0	10,6	-33,0	4,4
7	Väkilannoite 40 N		40	40	15	2911	61,2	11,5	-21,2	3,5
8	Väkilannoite 60 N		60	60	15	3122	66,4	12,3	-6,4	2,7
9	Väkilannoite 80 N		80	80	15	3287	70,7	12,8	9,3	2,2
10	Väkilannoite 100 N		100	100	15	3300	72,7	12,6	27,3	2,4
Keskiarvo						<b>2902</b>	<b>62,2</b>	<b>11,6</b>	<b>27,0</b>	<b>7,5</b>
Keskiarvon keskivirhe						126,4	3,35	0,49	3,28	0,49
P-arvot						<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>
Raakalanta vs. käsittelyjäänös						0,13	0,12	0,38	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Käsittelyjäänös vs. separoitu kuiva + neste						0,14	0,12	0,57	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste						0,96	0,99	0,75	0,96	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. separoitu kuiva						0,88	0,84	0,62	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,018</b>
Käsittelyjäänös vs. separoitu kuiva						0,16	0,079	0,17	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Separoitu kuiva vs. separoitu kuiva + neste						0,92	0,84	0,42	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>

### 3.6. Nurmikokeen satotulokset

Nurmikokeessa oli mukana neljä koevuotta, kokoviljavuosi 2009 sekä nurmivuodet 2010–2012. Kuten ohrakokeessa, orgaanisten lannoitteiden liukoisen typen määrää ei tiedetty levitysvaiheessa, ja siksi niiden tuottamaa satovastetta eli liukoisen typen käyttökelpoisuutta suhteessa vastaavaan väkilannoitetyyppeen verrattiin väkilannoiteportaiden avulla muodostettujen väkilannoitefunktioiden avulla (Kuvat 14–17). Näin ollen kuvien graafinen tulkinta antaa tarkemman kuvan typen hyväksikäytöstä kuin vastaavat taulukot, jotka puolestaan kertovat tarkemmin sadon muista ominaisuuksista. Kuvissa näkyvät virhepalkit ovat 95 % luottamusvälit. Orgaanisten lannoitteiden satotasoa verrattiin väkilannoitefunktioiden antamiin satotasoihin vastaavalla väkilannoitetyypen määrällä, ja nämä osuudet esitetään taulukossa 16. Ensimmäisen ja toisen sadon määrä- ja laatutulokset kunakin vuonna esitellään taulukoissa 17–23.

Vuonna 2009 tulokset ovat suojaviljalta (ohra, kokovilja), joten lannoitus- ja sadonkorjuukertoja oli vain yksi kasvukauden aikana. Muina vuosina nurmi lannoitettiin keväisin Suomensalpietarilla (27-0-1, typpitaso 100 kg N/ha). Varsinaiset tutkitut lannoituskäsittelyt tehtiin toiselle sadolle.

Kokoviljalla lannoituskäsittelyjä oli typpiportaiden lisäksi kolme: raakalanta, käsittelyjäännös sekä separoidun käsittelyjäännöksen kuivajae. Kokoviljan satotaso oli tyypillinen, mutta typpiportaiden vaikutus oli melko vähäinen eikä käsittelyjen vaikutus ollut merkitsevä kuiva-aineena eikä energiasatona mitattuna ( $p > 0,05$ ; Taulukko 17). D-arvossa (sulavan orgaanisen aineen määrä, g/kg ka) tai NDF-kuidun määrässä ei ollut eroa koejäsenten välillä. Raakavalkuaisen määrä kasvoi typpiportas-koejäsenillä typpilannoituksen määrän kasvaessa. Orgaanisten lannoitteiden välisissä kontrastitarkasteluissa käsittelyjäännöksellä oli lähes merkitsevästi ( $p = 0,055$ ) korkeampi raakavalkuaispitoisuus kuin kuivajakeella. Orgaanisten lannoitteiden liukoisen typen hyväksikäyttö oli 90 % tai hieman sen yli (Taulukko 16).

Koejäsen 3 sai perustamisvuonna kuivajaetta ja nurmivuosina nestejaetta. Koejäsen 4, joka jätettiin perustamisvuonna ilman typpilannoitusta, sai myös nestejaetta vuonna 2010. Se jätettiin kuitenkin tulostenlaskennan ulkopuolelle, koska sen käsittely oli samankaltainen kuin koejäsenen 3 eikä ollut siten mielenkiintoinen. Vuonna 2010 ensimmäisen niiton sadossa ei ollut lainkaan merkitseviä eroja sadon määrässä tai laadussa, joten orgaanisilla lannoitteilla ei ollut jälkivaikutusta edellisestä vuodesta (Taulukko 18). Toisessa sadossa väkilannoitetyppiportaista nähdään, että typen lisäys nosti kuiva-ainesatota ja sen raakavalkuaispitoisuutta selvästi (Taulukko 19). Raakalanta ja käsittelyjäännös tuottivat sekä määrältään että laadultaan samankaltaisen sadon. Ainoa merkitsevä ero oli kasvuston fosforipitoisuudessa, joka oli käsittelyjäännöksellä alhaisempi. Nestejaelannoitus tuotti raakalantaa ja käsittelyjäännöstä korkeamman satotason, matalamman D-arvon ja korkeammat NDF- ja kaliumpitoisuudet. On huomioitava, että nestejaekoejäsen sai lannoituksessa huomattavasti enemmän liukoista tyyppiä kuin raakalantaa ja käsittelyjäännöstä saaneet ruodut, joten satotulokset eivät sinänsä ole suoraan vertailukelpoisia. Kokonaissatota tarkastellessa käy ilmi, että raakalanta ja käsittelyjäännös olivat samanarvoiset, ja niiden typen hyväksikäytöt olivat 88 ja 84 % (Taulukko 16, Kuva 15). Sen sijaan nestejakeen typen hyväksikäyttö oli samaa tasoa kuin väkilannoitetyypellä (101 %). Jos tarkastellaan vastaavia lukuja pelkästään toisen sadon osalta, saadaan prosenttiosuuksiksi 75, 74 ja 101 % (Taulukko 16).

Toisena nurmivuonna 2011 lannoituskäsittelyt raakalannalla, käsittelyjäännöksellä ja siitä separoidulla nestejakeella toistettiin samoin kuin edellisenä vuonna. Neljäs koejäsen, joka oli perustamisvuonna typpilannoittamaton ja sai vuonna 2010 nestejakeen, jätettiin kokonaan lannoittamatta toisessa sadossa. Ensimmäisen niiton tuloksissa ei ollut yleisesti tilastollisia eroja. Kontrastitarkastelussa raakalanta tuotti korkeamman sadon kuin käsittelyjäännös, mutta vastaavasti alhaisemman raakavalkuaispitoisuuden (Taulukko 20). Tämä johtuu edellisen vuoden raakalannan jälkivaikutuksesta. Satotaso oli huomattavan korkea, mikä johtui hieman myöhästyneestä niitosta. Tämä näkyy myös suositusta alhaisempana D-arvona. Toisessa niitossa typen vaikutus oli ilmeinen kaikkien satomuuttujien osalta (Taulukko 21). Raakalanta ja käsittelyjäännös eivät kuitenkaan poikenneet toisistaan tilas-

tollisesti merkitsevästi. Sen sijaan nestejakeen käyttäminen lisäsi sekä kuiva-aine- että ME-satoa ja näkyi myös alhaisempana D-arvona, mikä jälleen johtuu lähinnä siitä, että nestejakeojäsen sai huomattavasti enemmän liukoista tyyppiä kuin raakalanta- ja käsittelyjäännöskoejäsenet. Kasvuston kaliumpitoisuus oli yleisesti korkeampi kuin minään muuna niittokertana kokeen aikana (keskimäärin 28,8 g/kg ka). Lannoittamatta jätetty neljäs koejäsen ei saanut kaliumia, ja sen kaliumpitoisuus olikin muita selvästi alhaisempi (24,3 g/kg ka). Kun tarkastellaan typen hyväksikäyttöä väkilannoitefunktion avulla (Taulukko 16, Kuva 16) nähdään, että kaikkien orgaanisten lannoitteiden typen hyväksikäyttö oli vuonna 2011 kutakuinkin väkilannoitetyypen veroista. Näin oli myös tarkasteltaessa pelkkää toista satoa (96, 103 ja 105 %).

Kolmantena nurmivuonna neljäs koejäsen jätettiin kokonaan kokeen ulkopuolelle. Ensimmäinen niitto tehtiin edellisvuoden tapaan suhteellisen myöhään. Kuiva-ainesadot olivat korkeita, eikä koejäsenten välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja (Taulukko 22). Toisin kuin edellisena vuonna, käsittelyjäännös tuotti lähes merkitsevästi korkeamman sadon kuin raakalanta (kontrastitarkastelun p-arvo 0,056). Toisessa sadossa nestejake tuotti korkeamman sadon kuin raakalanta ja käsittelyjäännös samoin kuin muinakin vuosina. Kuvan 17 perusteella käsittelyjäännöksen typen hyväksikäyttö oli väkilannoitetyypen veroista. Raakalannalla ja nestejakeellakin luottamusvälit ovat sen verran leveät, ettei voida sanoa niiden lannoitusvaikutuksen olleen väkilannoitetyppiä huonompaa. Prosentteina mitattuna raakalanta ja separoitu neste ylsivät 93 prosenttiin väkilannoitteen typen hyväksikäytöstä, ja käsittelyjäännös jopa 98 prosenttiin. Pelkkää toista satoa tarkasteltaessa vastaavat luvut olivat raakalanta 97 %, käsittelyjäännös 95 % ja separoitu nestejake 94 % (Taulukko 16).

Vuosien välillä oli melko suurta vaihtelua satotasossa. Vuosina 2011 ja 2012 ensimmäinen niitto tehtiin varsin myöhään, mikä nosti selkeästi ensimmäisen sadon määrää ja sitä kautta myös kokonaissatoa. Kun verrataan väkilannoiteportaiden sadonnousua (2011 vs. 2010) orgaanisten lannoitteiden sadonnousuun, nähdään, että ne ovat likimain samansuuruiset, mikä osoittaa, että satotason nousun syynä ei ole orgaanisten lannoitteiden jälkivaikutus. Johtopäätös saa tukea myös siitä, ettei käsittelyjen välillä yleisesti ollut eroa raakavalkuaispitoisuudessa. Lannoituksen jälkivaikutuksessa seuraavaan kevään ensimmäiseen satoon ei havaittu myöskään eroa raakalannan ja käsittelyjäännöksen välillä. Ensimmäisenä keväänä eroja ei ollut, toisena raakalannalla havaittiin jälkivaikutus käsittelyjäännökseen verrattuna, ja kolmantena keväänä puolestaan käsittelyjäännös oli lähes merkitsevästi raakalantaa parempi.

Kun tarkastellaan orgaanisten lannoitteiden liukoisen typen hyväksikäyttöä eri vuosina, havaitaan, etteivät raakalanta ja käsittelyjäännös keskimäärin poikkea toisistaan sadonmuodostuksen osalta: typen hyväksikäyttöprosentit yli vuosien ovat 95 % ja 93 % (Taulukko 16). Sen sijaan vuosivaihtelu oli paljon suurempaa. On myös muistettava, että vuonna 2009 korjattiin kokoviljasato eikä nurmisato. Vuosi 2010 oli varsin lämmin ja kuiva juuri toisen sadon kasvun aikana myös maan pinta-kerroksen osalta. Silloin raakalannan ja käsittelyjäännöksen typen hyväksikäyttö oli heikointa. Vuosina 2011 ja 2012 maan kosteus on ollut todennäköisesti eduksi mineralisaatiolle. Nestejake ylsi parhaiten väkilannoitetyypen tasoon myös kuivana vuonna 2010.

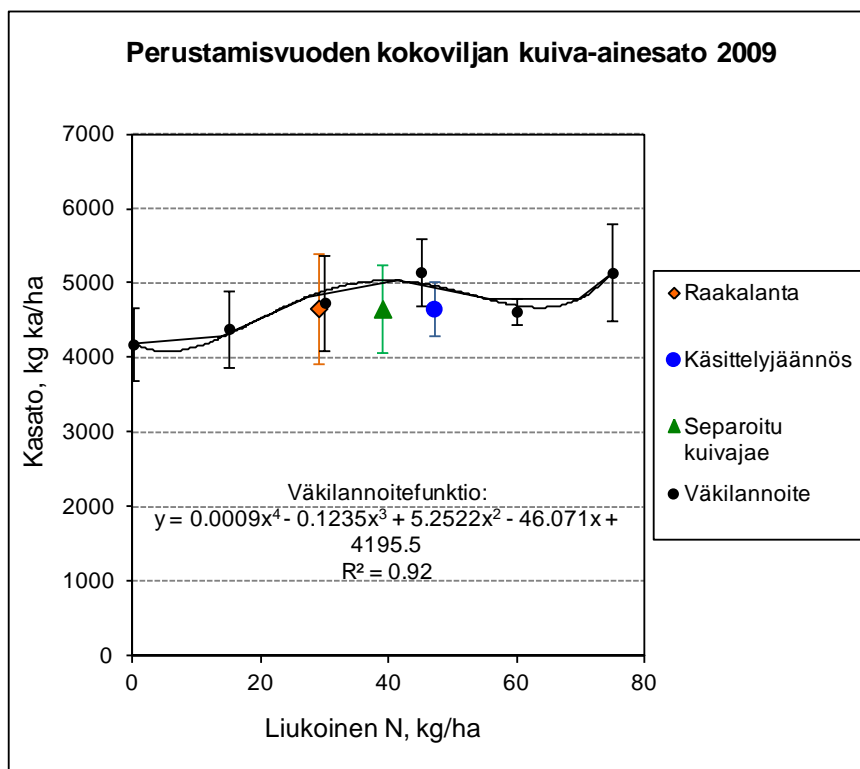
**Taulukko 16.** Suhdeluvut: kuinka monta prosenttia kunkin käsittelyn liukoisen tyyppien määrä tuotti nurmen kokonaiskuiva-ainesatoa verrattuna vastaavaan väkilannoitteena annettuun tyyppien kokonaissadossa ja toisesa sadossa. Kokonaissadon väkilannoitefunktiot esitetään kuvissa 14–17, toisen sadon funktioita ei esitetä.

<b>Kokonaissato</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>Keskimäärin</b>
	<b>kokovilja</b>	<b>1.nurmiv.</b>	<b>2.nurmiv.</b>	<b>3.nurmiv.</b>	
Raakalanta	95	88	103	93	95
Käsittelyjäännös	90	84	100	98	93
Separoitu kuivajae	91	-	-	-	91
Separoitu nestejaje	-	101	103	93	99
Väkilannoite	100	100	100	100	100
<b>2. sato</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>Keskimäärin</b>
	<b>kokovilja</b>	<b>1.nurmiv.</b>	<b>2.nurmiv.</b>	<b>3.nurmiv.</b>	
Raakalanta	95	75	96	97	91
Käsittelyjäännös	90	74	103	95	90
Separoitu kuivajae	91	-	-	-	91
Separoitu nestejaje	-	101	105	94	100
Väkilannoite	100	100	100	100	100

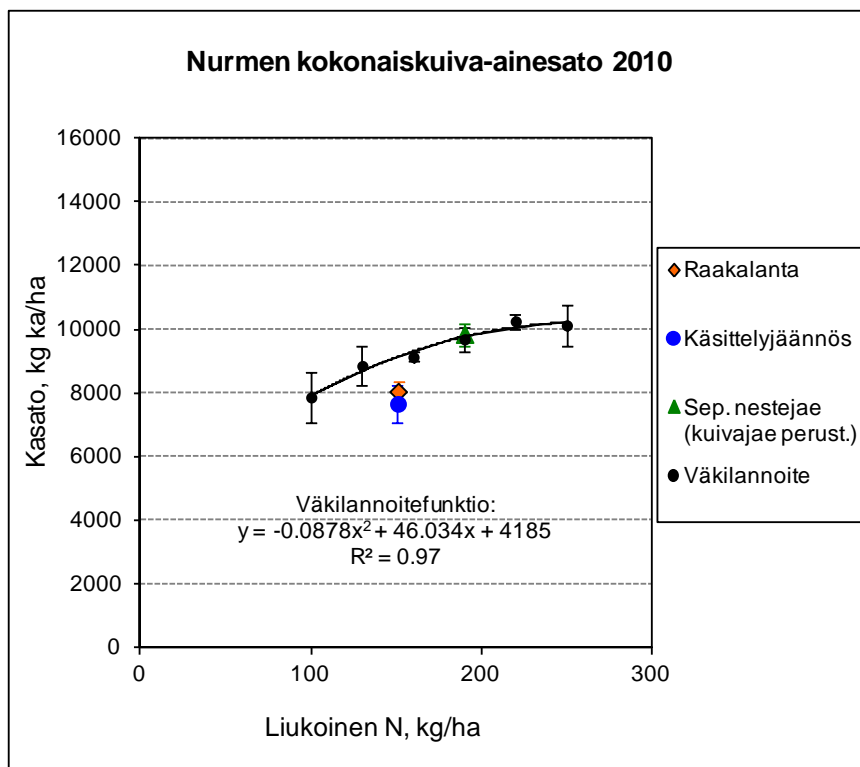
Ulkomaiset käsittelyjäännökseen ja nurmenviljelyyn liittyvät tutkimukset on tehty lähes poikkeuksetta englanninraiheinällä. Walsh ym. (2012) saivat astiakokeessa karjanlantapohjaisesta käsittelyjäännöksestä separoidulla nestejakeella raakalantaa korkeamman tai yhtä suuren kuiva-ainesadon. Nestejakeella saatu sato oli aina väkilannoitteen veroista. Toisaalta esimerkiksi Wienforth ym. (2010) eivät löytäneet eroa naudun raakalannan ja sianlannasta sekä maissista peräisin olevan käsittelyjäännöksen välillä, kun liukoisen tyyppien määrän vaikutus poistettiin. Molemmat orgaaniset lannoitteet olivat väkilannoitetyypin veroisia ja satotasoerot selittyivät ainoastaan liukoisen tyyppien määrän vaihtelulla.

Suomessa käsittelyjäännöksen käyttöä nurmen lannoitteena ovat tutkineet ainakin Kapuinen ym. (2008a) ja Laukkanen (2012). Molemmissa kokeissa korostui käsittelyjäännöksen sijoittamisen tärkeys pintalevityksen sijaan, jolloin saatiin myös positiivinen lannoitusvaikutus raakalantaan verrattuna. Osittain tämä voi olla myös seurausta siitä, että molemmissa kokeissa käsittelyjäännöksenä annettiin hieman enemmän liukoista tyyppiä kuin raakalantana. Letkulevityksellä raakalannan ja käsittelyjäännöksen välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (Kapuinen 2008a). Sijoitettu käsittelyjäännös oli väkilannoitetyypin veroista (Kapuinen 2008a). Nestejakeen väkilannoitteen veroinen lannoitusvaikutus on osoitettu myös ohralle levitettynä (Kapuinen 2008b).

Kapuinen ym (2008a) havaitsivat, että käsittelyjäännöksen tuottaman sadon raakavalkuaispitoisuus sekä tyyppien hyväksikäyttö oli vastaavan väkilannoitetyypin veroista, kun lannoitus tehtiin sijoittamalla. Raakalannalla nämä jäivät heikommiksi. Tässä tutkimuksessa raakavalkuaispitoisuus raakalannan ja käsittelyjäännöksen välillä ei eronnut orgaanista lannoitetta saaneissa sadoissa (Taulukot 17, 19 ja 21).

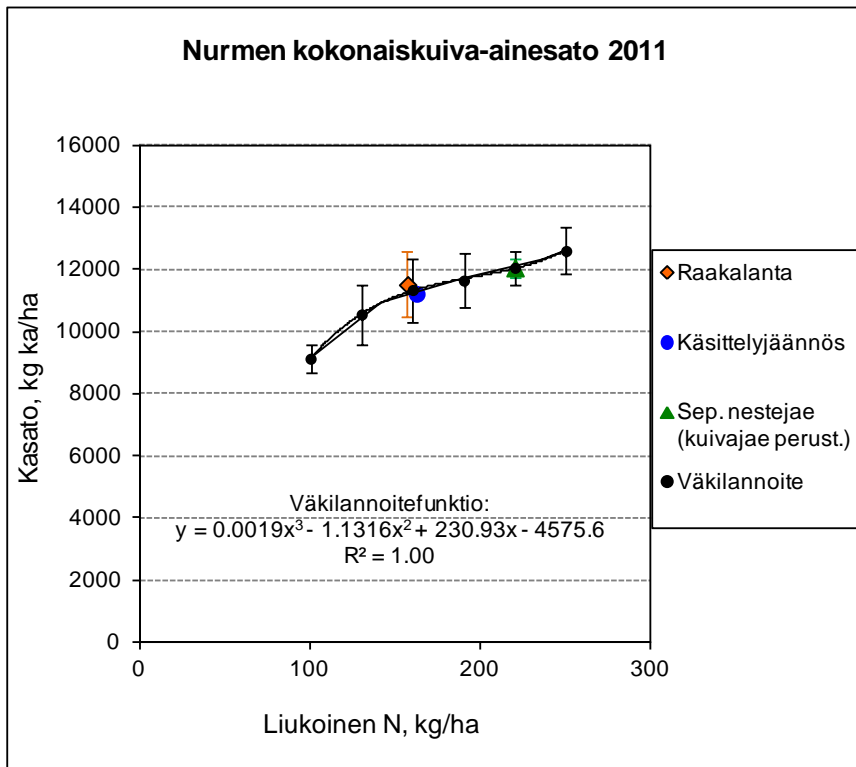


**Kuva 14.** Perustamisvuoden kokoviljan kuiva-ainesato suhteessa annettuun liukoiseen tyypeen. Virhepalkit ovat 95 % luottamusvälit.

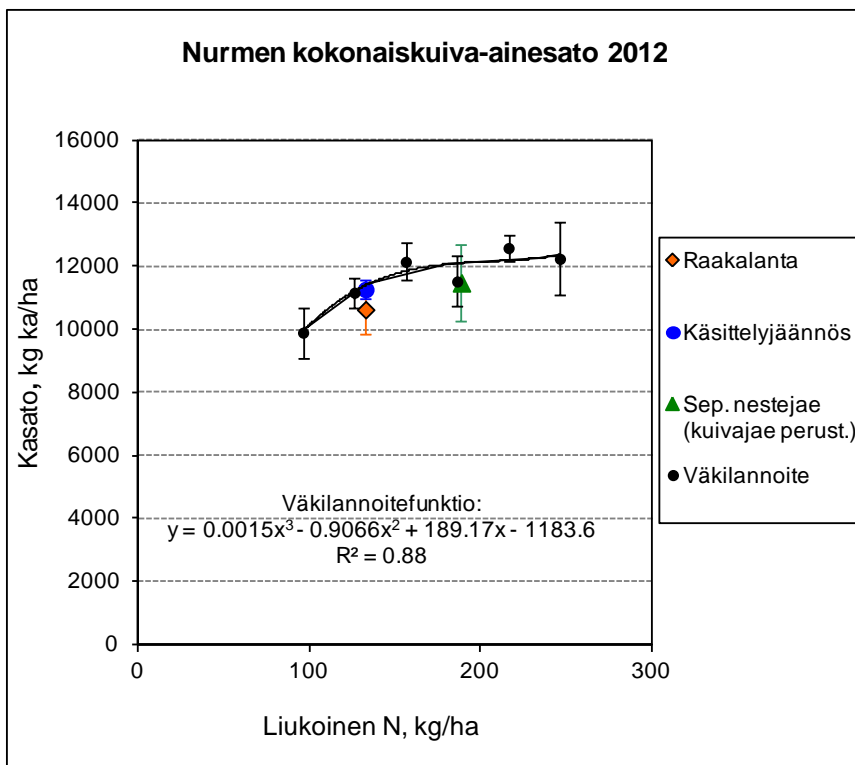


**Kuva 15.** Kasvukauden 2010 kokonaiskuiva-ainesato suhteessa annettuun liukoiseen tyypeen. Virhepalkit ovat 95 % luottamusvälit.





**Kuva 16.** Kasvukauden 2011 kokonaiskuiva-ainesato suhteessa annettuun liukoiseen tyypeen. Virhepalkit ovat 95 % luottamusvälit.



**Kuva 17.** Kasvukauden 2012 kokonaiskuiva-ainesato suhteessa annettuun liukoiseen tyypeen. Virhepalkit ovat 95 % luottamusvälit.

**Taulukko 17.** Kokoviljavuoden 2009 lannoitustiedot sekä sadon määrä- ja laatutulokset. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

2009 Kokovilja															
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Ka %	Kasato kg ka/ ha	Suhde- luku	D-arvo g/kg ka	ME-sato GJ/ha	NDF	rv g/kg ka	P	K
1	Raakalanta	21	55	29	11	59	30,5	4664	111	619	46,0	529	113	2,99	19,2
2	Käsittelyjäännös	30	84	47	18	93	30,7	4661	111	624	46,5	535	116	2,99	19,2
3	Separoitu kuivajae	19	107	39	37	58	31,2	4657	111	616	46,0	536	109	2,99	18,2
4	Väkilannoite 0 N		0	0	15	60	31,2	4186	100	626	41,9	529	107	2,90	18,9
5	Väkilannoite 15 N		15	15	15	61	30,7	4389	105	621	43,6	521	107	2,75	20,2
6	Väkilannoite 30 N		30	30	15	61	30,9	4746	113	621	47,1	531	111	2,71	20,2
7	Väkilannoite 45 N		45	45	15	62	29,7	5154	123	613	50,5	518	117	2,77	21,6
8	Väkilannoite 60 N		60	60	15	62	30,3	4624	110	624	46,2	522	120	2,71	20,8
9	Väkilannoite 75 N		75	75	15	63	29,9	5142	123	619	50,9	523	122	2,74	20,7
10	Väkilannoite 75 N		75	75	15	63	29,1	5357	128	609	52,2	536	123	2,71	22,3
<b>Keskiarvo</b>							<b>30,4</b>	<b>4758</b>		<b>619</b>	<b>47,1</b>	<b>528</b>	<b>114</b>	<b>2,83</b>	<b>20,1</b>
Keskiarvon keskivirhe							0,53	272,0		6,9	2,52	12,7	3,7	0,07	0,76
p-arvot							0,14	0,091		0,75	0,10	0,89	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,005</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös							0,76	0,99		0,62	0,89	0,69	0,39	1,00	1,00
Raakalanta vs. separoitu kuivajae							0,31	0,99		0,75	0,98	0,60	0,27	1,00	0,30
Käsittelyjäännös vs. separoitu kuivajae							0,47	0,99		0,42	0,88	0,90	0,055	1,00	0,30

**Taulukko 18.** Kasvukauden 2010 nurmikokeen 1. sadon lannoitustiedot sekä sadon laatu- ja määrätulokset. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2010 1. niitto</b>																
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Ka %	Kasato kg ka/ha	Suhde- luku	D-arvo g/kg ka	ME-sato GJ/ha	Ligniini	NDF	rv g/kg ka	P	K
1	Raakalanta		100	100	0	3,7	21,2	4733	106	686	52,0	41,0	589	138	2,61	23,9
2	Käsittelyjäännös		100	100	0	3,7	20,7	4406	99	688	48,4	40,3	586	143	2,66	24,8
3	Sep. neste (kuivajae pe- rust.)		100	100	0	3,7	20,9	4878	109	682	53,2	41,5	595	134	2,58	23,7
*																
5	Väkilannoite 0 N		100	100	0	3,7	20,7	4458	100	678	48,3	41,5	597	138	2,55	24,7
6	Väkilannoite 30 N		100	100	0	3,7	20,8	4672	105	689	51,4	39,8	586	138	2,51	24,2
7	Väkilannoite 60 N		100	100	0	3,7	21,0	4571	103	680	49,4	40,7	594	137	2,54	24,0
8	Väkilannoite 90 N		100	100	0	3,7	20,9	4893	110	672	52,6	41,5	595	133	2,57	24,4
9	Väkilannoite 120 N		100	100	0	3,7	21,1	5088	114	668	54,4	42,3	597	137	2,54	23,6
10	Väkilannoite 150 N		100	100	0	3,7	20,8	4840	109	669	51,8	41,5	595	134	2,55	24,3
<b>Keskiarvo</b>							<b>20,9</b>	<b>4726</b>		<b>679</b>	<b>51,3</b>	<b>41,1</b>	<b>593</b>	<b>137</b>	<b>2,57</b>	<b>24,2</b>
Keskiarvon keskivirhe							0,33	196		6,5	2,40	0,79	5,42	4,4	0,058	0,48
p-arvot							0,97	0,13		0,10	0,30	0,31	0,44	0,63	0,75	0,48
Raakalanta vs. käsittelyjäännös							0,33	0,18		0,88	0,19	0,44	0,62	0,28	0,51	0,15
Raakalanta vs. separoitu neste							0,50	0,54		0,62	0,64	0,61	0,36	0,50	0,78	0,75
Käsittelyjäännös vs. separoitu neste							0,76	0,057		0,52	0,080	0,21	0,16	0,085	0,35	0,083

\* Koejäsen 4 ei tarpeellinen.

**Taulukko 19.** Kasvukauden 2010 nurmikokeen 2. sadon lannoitustiedot sekä sadon laatu- ja määrätulokset. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.**2010 2. niitto**

Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Ka %	Kasato kg ka/ha	Suhde- luku	D-arvo g/kg ka	ME-sato GJ/ha	Ligniini	NDF	rv g/kg ka	P	K
1	Raakalanta	30	90	51	17	111	36,4	3317	97	708	37,6	42,0	531	91	2,3	23,4
2	Käsittelyjäännös	28	79	51	14	133	35,2	3258	96	712	37,1	41,0	525	99	2,0	22,0
3	Sep. neste (kuivajae perust.)	50	220	90	25	170	35,7	4976	146	680	54,1	43,3	545	99	2,2	25,6
*																
5	Väkilannoite 0 N		0	0	20	110	38,2	3409	100	660	35,9	44,3	536	70	2,0	20,1
6	Väkilannoite 30 N		30	30	20	111	36,7	4182	123	661	44,2	44,0	538	87	1,8	22,5
7	Väkilannoite 60 N		60	60	20	112	37,0	4563	134	674	49,3	42,5	529	103	1,7	23,3
8	Väkilannoite 90 N		90	90	20	113	34,1	4798	141	669	51,3	43,3	542	117	1,9	24,8
9	Väkilannoite 120 N		120	120	20	114	33,3	5168	152	666	55,1	43,8	549	127	1,9	25,7
10	Väkilannoite 150 N		150	150	20	116	33,3	5289	155	664	56,2	43,0	544	135	1,9	26,7
Keskiarvo							<b>35,5</b>	<b>4329</b>		<b>677</b>	<b>46,8</b>	<b>43,0</b>	<b>537</b>	<b>103</b>	<b>2,0</b>	<b>23,8</b>
Keskiarvon keskivirhe							1,22	172,0		8,4	1,83	1,67	5,0	4,4	0,09	0,78
p-arvot							<b>0,002</b>	<b>&lt;0,001</b>		<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,61	<b>0,018</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös							0,30	0,80		0,63	0,85	0,55	0,40	0,19	<b>0,002</b>	0,11
Raakalanta vs. separoitu neste							0,55	<b>&lt;0,001</b>		<b>0,003</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,45	<b>0,042</b>	0,23	0,47	<b>0,016</b>
Käsittelyjäännös vs. separoitu neste							0,65	<b>&lt;0,001</b>		<b>0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,18	0,006	0,92	<b>0,012</b>	<b>&lt;0,001</b>

\* Koejäsen 4 ei tarpeellinen.

**Taulukko 20.** Kasvukauden 2011 nurmikokeen 1. sadon lannoitustiedot sekä sadon laatu- ja määrätulokset. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2011 1. niitto</b>																
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Ka %	Kasato kg ka/ha	Suhde- luku	D-arvo g/kg ka	ME-sato GJ/ha	ligniini	NDF	rv g/kg ka	P	K
1	Raakalanta	0	100	100	0	3,7	20,8	7679	108	626	77,0	33,8	615	107	2,4	23,9
2	Käsittelyjäännös	0	100	100	0	3,7	20,2	7037	99	633	71,2	34,3	611	118	2,5	24,6
3	Sep. neste (kuivajae perust.)	0	100	100	0	3,7	21,2	7092	100	620	70,4	34,8	612	110	2,4	23,9
4	Väkilann. 0 N (2010 sep. neste)	0	100	100	0	3,7	20,4	7285	102	637	74,4	33,8	611	116	2,4	24,4
5	Väkilannoite 0 N	0	100	100	0	3,7	20,4	7128	100	621	70,8	33,0	619	111	2,5	25,6
6	Väkilannoite 30 N	0	100	100	0	3,7	20,3	7247	102	624	72,4	32,8	612	117	2,4	25,0
7	Väkilannoite 60 N	0	100	100	0	3,7	19,9	7115	100	634	72,2	32,3	612	119	2,4	25,4
8	Väkilannoite 90 N	0	100	100	0	3,7	20,5	7476	105	632	75,6	32,8	606	118	2,4	24,6
9	Väkilannoite 120 N	0	100	100	0	3,7	19,9	7283	102	626	73,0	33,8	617	117	2,5	25,1
10	Väkilannoite 150 N	0	100	100	0	3,7	20,5	7519	105	632	76,0	33,8	604	119	2,3	24,9
<b>Keskiarvo</b>							<b>20,4</b>	<b>7286</b>		<b>628</b>	<b>73,3</b>	<b>33,5</b>	<b>612</b>	<b>115</b>	<b>2,4</b>	<b>24,7</b>
Keskiarvon keskivirhe							0,53	251,2		7,1	3,25	0,69	5,42	3,5	0,06	0,54
p-arvot							0,75	0,45		0,66	0,54	0,31	0,70	0,17	0,40	0,26
Raakalanta vs. käsittelyjäännös							0,36	<b>0,038</b>		0,51	0,11	0,61	0,63	<b>0,025</b>	0,064	0,33
Raakalanta vs. separoitu neste							0,61	0,057		0,52	0,067	0,31	0,77	0,57	0,71	0,95
Käsittelyjäännös vs. separoitu neste							0,16	0,85		0,20	0,81	0,61	0,85	0,082	0,13	0,36

**Taulukko 21.** Kasvukauden 2011 nurmikokeen 2. sadon lannoitustiedot sekä sadon laatu- ja määrätulokset. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2011 2. niitto</b>																
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Ka %	Kasato kg ka/ha	Suhde- luku	D-arvo g/kg ka	ME-sato GJ/ha	ligniini	NDF	rv g/kg ka	P	K
1	Raakalanta	30	78	57	12	78	20,9	3833	191	697	42,7	23,8	570	113	3,4	29,9
2	Käsittelyjäännös	28	91	62	11	91	19,8	4183	209	685	45,9	26,3	584	115	3,2	30,5
3	Sep. neste (kuivajae perust.)	50	160	120	21	140	19,8	4973	248	666	52,9	28,5	582	112	3,1	29,1
4	Väkilann. 0 N (2010 sep. neste)		0	0	0	0	25,4	2637	132	737	31,1	20,8	519	93	3,1	24,3
5	Väkilannoite 0 N		0	0	20	111	24,2	2004	100	703	22,5	20,5	556	98	3,2	26,5
6	Väkilannoite 30 N		30	30	20	112	21,9	3191	159	683	34,8	22,3	582	107	3,2	29,5
7	Väkilannoite 60 N		60	60	20	113	20,0	4231	211	668	45,1	27,0	587	116	2,9	29,5
8	Väkilannoite 90 N		90	90	20	114	18,8	4172	208	649	43,3	30,3	599	119	2,8	30,5
9	Väkilannoite 120 N		120	120	20	115	17,8	4776	238	652	49,8	32,3	593	129	2,5	29,2
10	Väkilannoite 150 N		150	150	20	117	17,8	5083	254	653	53,1	31,3	587	138	2,4	28,9
<b>Keskiarvo</b>							<b>20,6</b>	<b>3908</b>		<b>679</b>	<b>42,1</b>	<b>26,3</b>	<b>576</b>	<b>114</b>	<b>3,0</b>	<b>28,8</b>
Keskiarvon keskivirhe							0,30	183,9		6,94	1,82	1,11	5,5	3,0	0,11	0,70
p-arvot							<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>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös							<b>0,013</b>	0,16		0,17	0,21	0,065	0,054	0,69	0,24	0,52
Raakalanta vs. separoitu neste							<b>0,010</b>	<b>&lt;0,001</b>		<b>0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,001</b>	0,088	0,80	<b>0,014</b>	0,37
Käsittelyjäännös vs. separoitu neste							0,92	<b>0,003</b>		<b>0,040</b>	<b>0,008</b>	0,10	0,81	0,52	0,17	0,13

**Taulukko 22.** Kasvukauden 2012 nurmikokeen 1. sadon lannoitustiedot sekä sadon laatu- ja määrätulokset. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2012 1. niitto</b>																
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Ka %	Kasato kg ka/ha	Suhde- luku	D-arvo g/kg ka	ME-sato GJ/ha	ligniini	NDF	rv g/kg ka	P	K
1	Raakalanta	0	96	96	0	3,6	16,1	6976	99	640	71,4	45,3	618	129	2,7	22,9
2	Käsittelyjäännös	0	96	96	0	3,6	17,5	7675	109	635	78,0	46,4	619	121	2,5	21,3
3	Sep. neste (kuivajae perust.)	0	96	96	0	3,6	16,9	7188	102	623	71,7	47,0	626	121	2,6	23,3
*																
5	Väkilannoite 0 N	0	96	96	0	3,6	16,0	7064	100	612	69,2	46,6	637	119	2,9	23,8
6	Väkilannoite 30 N	0	96	96	0	3,6	16,4	7405	105	612	72,4	47,1	637	118	2,8	22,5
7	Väkilannoite 60 N	0	96	96	0	3,6	17,7	7908	112	621	78,5	48,5	632	118	2,6	20,1
8	Väkilannoite 90 N	0	96	96	0	3,6	16,4	7126	101	634	72,4	46,6	627	124	2,7	21,9
9	Väkilannoite 120 N	0	96	96	0	3,6	17,6	7761	110	642	79,7	45,9	619	122	2,5	20,6
10	Väkilannoite 150 N	0	96	96	0	3,6	17,8	7523	106	623	75,0	47,1	627	115	2,5	21,2
<b>Keskiarvo</b>							<b>16,9</b>	<b>7403</b>		<b>627</b>	<b>74,3</b>	<b>46,7</b>	<b>627</b>	<b>121</b>	<b>2,7</b>	<b>21,9</b>
Keskiarvon keskivirhe							0,65	312,9		10,8	3,63	0,93	6,2	5,2	0,08	0,94
p-arvot							0,23	0,12		0,17	0,089	0,47	0,061	0,68	<b>0,011</b>	<b>0,048</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös							0,10	0,056		0,68	0,087	0,39	0,89	0,23	0,064	0,17
Raakalanta vs. separoitu neste							0,33	0,55		0,19	0,95	0,17	0,29	0,24	0,38	0,77
Käsittelyjäännös vs. separoitu neste							0,49	0,18		0,37	0,098	0,61	0,36	0,98	0,31	0,097

\* Koejäsentä 4 ei toteutettu.

**Taulukko 23.** Kasvukauden 2012 nurmikokeen 2. sadon lannoitustiedot sekä sadon laatu- ja määrätulokset. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

2012 2. niitto																
Koe- jäsen	Lannoitus	Liete t/ha	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Ka %	Kasato kg ka/ha	Suhde- luku	D-arvo g/kg ka	ME-sato GJ/ha	ligniini	NDF	rv	P	K
														kg/ha		
1	Raakalanta	26	74	37	14	93	20,7	3654	129	710	41,4	37,0	561	102	2,6	20,9
2	Käsittelyjäännös	22	47	37	9	90	21,0	3595	127	690	39,6	38,6	572	93	2,6	20,6
3	Sep. neste (kuivajae perust.)	50	110	93	18	225	20,2	4292	151	649	44,3	42,4	598	99	2,4	20,8
*																
5	Väkilannoite 0 N	0	0	0	20	111	21,7	2837	100	692	31,2	34,1	565	95	2,9	22,9
6	Väkilannoite 30 N	0	30	30	20	112	20,9	3763	133	682	41,0	37,2	577	95	2,8	23,9
7	Väkilannoite 60 N	0	60	60	20	113	19,5	4240	149	685	46,4	40,2	596	105	2,7	23,7
8	Väkilannoite 90 N	0	90	90	20	114	20,4	4398	155	649	45,6	43,3	602	103	2,5	22,5
9	Väkilannoite 120 N	0	120	120	20	116	19,6	4824	170	661	51,0	43,9	598	108	2,5	21,4
10	Väkilannoite 150 N	0	150	150	20	117	19,3	4719	166	639	48,2	47,3	620	107	2,4	20,6
<b>Keskiarvo</b>							<b>20,4</b>	<b>4036</b>		<b>673</b>	<b>43,2</b>	<b>40,4</b>	<b>588</b>	<b>101</b>	<b>2,6</b>	<b>21,9</b>
Keskiarvon keskivirhe							0,70	252,8		10,7	2,31	1,62	11,8	4,3	0,07	0,66
p-arvot							0,22	<b>&lt;0,001</b>		<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,001</b>	0,098	<b>0,001</b>	<b>0,003</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös							0,80	0,82		0,066	0,47	0,27	0,42	0,11	0,70	0,73
Raakalanta vs. separoitu neste							0,58	<b>0,020</b>		<b>&lt;0,001</b>	0,26	<b>0,001</b>	<b>0,008</b>	0,52	0,085	0,89
Käsittelyjäännös vs. separoitu neste							0,42	<b>0,012</b>		<b>&lt;0,001</b>	0,074	<b>0,014</b>	<b>0,049</b>	0,32	0,17	0,84

\* Koejäsentä 4 ei toteutettu.



### 3.7. Nurmikokeen ravinnetaseet

Nurmen ravinnetaseet laskettiin vastaavalla tavalla kuin ohralle, ja lisäksi nurmella taseet laskettiin myös kaliumille. Kokoviljavuonna typen taseet olivat negatiiviset kaikilla muilla koejäsenillä paitsi separoidulla kuivajakeella, joka sai kokonaistyyppä selvästi enemmän kuin muut koejäsenet (Taulukko 24). Fosforitase oli väkilannoiteruuduilla lievästi positiivinen, raakalannalla lievästi negatiivinen, käsittelyjäännöksellä 4 kg/ha ja kuivajakeella 23,1 kg/ha. Kaliumtase oli negatiivinen käsittelyjäännöksen lievästi positiivista (3,7 kg/ha) tulosta lukuun ottamatta.

Nurmen ravinnetaseiden keskeinen piirre oli se, että ne olivat yleisesti voimakkaan negatiivisia ensimmäisessä niitossa, jossa kaikki koejäsenet saivat 100 kg/ha väkilannoitetyypä, eivät ollenkaan fosforia ja vain hieman kaliumia Suomensalpietarissa (Taulukot 25, 27 ja 29). Ensimmäisissä niitoissa koejäsenet eivät yleensä poikenneet toisistaan merkittävästi. Vuoden 2011 raakalannan ja separoidun nesteen väliset erot P- ja K-taseissa johtuvat erosta kuiva-ainesadon määrässä, eivätkä kasvuston ravinnepitoisuuksista.

Toisessa sadossa N-, P- ja K-taseet olivat sitä vastoin pääosin positiivisia ja koejäsenten väliset erot olivat merkittäviä sekä poistuman että taseiden osalta (Taulukot 26, 28 ja 30). Väkilannoiteportaiden tyypitaseet muuttuivat joka vuosi negatiivisista positiiviksi tyypilannoitusmäärän kasvaessa. Kaliumtaseet muuttuivat vastaavasti, mutta positiivisista negatiivisiksi, vuotta 2012 lukuun ottamatta, jolloin taseet kyllä pienenevät mutta säilyvät yhä positiivisina. Taseiden pieneminen johtui tyypilannoituksen aiheuttamasta satotason noususta, joka nosti kasvuston mukana poistuvan kaliumin määrää, eli kaliumsatoa. Orgaanisten lannoitteiden välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja lähes aina, sillä lannoituksessa annetut ravinnemäärät poikkesivat toisistaan. Separoidulla nestejakeella taseet olivat aina orgaanisista lannoitteista korkeimmat, vuoden 2010 kaliumtasetta lukuun ottamatta. Käsittelyjäännöksen ja raakalannan välillä ei ollut eroja vuonna 2011 missään taseessa eikä vuonna 2012 kaliumtaseessa. Muulloin typen ja fosforin taseet sekä lannoitteessa annettu kokonaistypen ja fosforin määrä olivat raakalannalla käsittelyjäännöstä suuremmat. Vuonna 2010 käsittelyjäännöskoejäsen sai enemmän kaliumia kuin raakalantakoejäsen, ja myös sen kaliumtase oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi.

Sinänsä vuositaseet ovat pitkällä aikavälillä tärkeämmät kuin niittokohtaiset taseet. Luonnollisesti toiselle sadolle annetut maahan jäävät ravinteet voisivat teoriassa lisätä huuhtoutumisriskiä, mutta koska raakalanta ja käsittelyjäännös sijoitettiin nurmeen, fosforin huuhtoutumisriskin kasvaminen ei ole ongelma ainakaan niiden kohdalla (ks. tarkemmin kohta Nurmikokeen maa-analyysit). Vuonna 2010 taseet olivat suurempia (voimakkaan positiivisia) kuin vuosina 2011 ja 2012 (Taulukot 31–33). Tämä selittyy pitkälti alhaisemmilla N-, P- ja K-sadoilla, sillä toisena ja kolmantena nurmivuonna ensimmäinen niitto tehtiin myöhään ja satotaso oli selvästi korkeampi kuin vuonna 2010 (9056 kg ka/ha vs. 11190 ja 11439 kg ka/ha). Väkilannoitetyypen määrän nostaminen kasvatti N-tasetta ja lisäsi vuosina 2010 ja 2011 P- ja K-taseen negatiivisuutta. Nurmen mineraalityypen otton tehokkuutta kuvaa se, että N-tase oli positiivinen vasta tasolla 220 kg N/ha/v (koejäsen 120 N toiselle sadolle) vuonna 2010 ja tasolla 150 N toiselle sadolle vuonna 2012; vuonna 2011 kaikkien väkilannoitekoejäsenten N-vuositase oli negatiivinen.

Raakalanta ja käsittelyjäännös käyttäytyivät muutoin keskenään samalla tavalla, mutta vuonna 2012 käsittelyjäännöksen N- ja P-taseet olivat negatiivisemmat ja vuonna 2010 K-tase vähemmän negatiivinen kuin raakalannalla. Sen sijaan separoitu nestejake käyttäytyi hyvin eri tavalla kuin raakalanta tai käsittelyjäännös: sen N-taseet olivat selkeästi korkeampia joka vuosi. Lisäksi sen P- ja K-taseet olivat joko positiivisempia tai lievemmin negatiivisempia kuin raakalannalla ja käsittelyjäännöksellä, paitsi vuonna 2010 kaliumilla. Tähän vaikutti todennäköisesti eniten se, että nestejakeen mukana annetut kokonaisravinnemäärät olivat selvästi korkeammat kuin raakalannassa tai käsittelyjäännöksessä annetut. Vuonna 2010 nurmelle levitetyn nestejakeen kokonaistyyppipitoisuus oli koko

kokeen keskiarvoa selvästi korkeampi (4,4 kg/t vs. 3,1 kg/t), mikä johti nitraattiasetuksen salliman kokonaistyyppimäärän (170 kg/ha) ylittymiseen.

Oleellinen havainto on, että nurmella jopa raakalannan sekä käsittelyjäännöksen vuositaseet olivat P:n ja K:n osalta negatiivisia kaikkina nurmivuosina. Ohralta ei määritetty K-taseita, mutta vastaavat P-taseet ovat varsinkin vuosina 2010 ja 2011 selkeästi suuremmat. Tämä kuvastaa nurmen ravinteidenottokykyä sekä itse viljelymenetelmän eroja: viljan jyvien korjuu kerran kasvukaudessa verrattuna nurmen vegetatiivisten kasvosien korjuuseen kahdesti kasvukaudessa. Tässä kokeessa ohran satotaso oli keskimääräistä alhaisempi ja nurmen korkea, mikä hieman liioittelee kasvien välisiä eroja ravinnetaseissa.



**Kuva 18.** Orgaanisten lannoitteiden levitys toiselle sadolle vuonna 2012. a) Raakalanta ja käsittelyjäännös lietekontilla sijoittaen. b) Nestejae kastelukannulla. Kuvat: Mari Rätty.

**Taulukko 24.** Kokoviljavuoden 2009 lannoitustiedot, kuiva-ainesato, N-, P-, ja K-sadot sekä ravinnetaseet. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

2009 Kokovilja		Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Kasato	N-sato	P-sato	K-sato	N-tase	P-tase	K-tase
Koe- jäsen	Lannoitus	kg/ha				kg ka/ha						
1	Raakalanta	55	29	11	59	4664	84	13,9	90	-28,8	-2,9	-31,1
2	Käsittelyjäännös	84	47	18	93	4661	86	14,0	89	-2,4	4,0	3,7
3	Separoitu kuiva	107	39	37	58	4657	82	13,9	85	25,3	23,1	-27,1
4	Väkilannoite 0 N	0	0	15	60	4186	72	12,1	79	-71,6	2,9	-19,4
5	Väkilannoite 15 N	15	15	15	61	4389	76	12,1	89	-60,6	2,9	-27,8
6	Väkilannoite 30 N	30	30	15	61	4746	84	12,9	96	-54,4	2,1	-35,4
7	Väkilannoite 45 N	45	45	15	62	5154	97	14,3	111	-51,6	0,7	-49,1
8	Väkilannoite 60 N	60	60	15	62	4624	89	12,6	96	-28,6	2,4	-34,2
9	Väkilannoite 75 N	75	75	15	63	5142	100	14,1	106	-25,0	0,9	-43,0
10	Väkilannoite 75 N	75	75	15	63	5357	105	14,5	119	-29,9	0,5	-56,0
<b>Keskiarvo</b>						<b>4758</b>	<b>87</b>	<b>13,4</b>	<b>96</b>	<b>-32,8</b>	<b>3,7</b>	<b>-31,9</b>
Keskiarvon keskivirhe						272,0	5,5	0,87	7,1	5,54	0,9	7,06
P-arvot						0,091	<b>0,004</b>	0,29	<b>0,010</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös						0,99	0,74	0,97	0,93	<b>0,002</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,002</b>
Raakalanta vs. separoitu kuiva						0,99	0,78	0,99	0,62	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,69
Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva						0,99	0,55	0,99	0,68	<b>0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,004</b>

**Taulukko 25.** Kasvukauden 2010 nurmikokeen 1. sadon lannoitustiedot, sadot ja ravinnetaseet. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2010 1. niitto</b>												
Koe- jäsen	Lannoitus	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Kasato	N-sato	P-sato	K-sato	Ntase	Ptase	Ktase
		kg/ha				kg ka/ha				kg/ha		
1	Raakalanta	100	100	0	3,7	4733	104	12,3	113	-4,2	-12,3	-110
2	Käsittelyjäänös	100	100	0	3,7	4406	100	11,7	109	-0,5	-11,7	-105
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	100	100	0	3,7	4878	105	12,6	116	-4,8	-12,6	-112
*												
5	Väkilannoite 0 N	100	100	0	3,7	4458	98	11,4	110	1,6	-11,4	-106
6	Väkilannoite 30 N	100	100	0	3,7	4672	103	11,7	113	-3,2	-11,7	-109
7	Väkilannoite 60 N	100	100	0	3,7	4571	98	11,6	109	0,4	-11,6	-106
8	Väkilannoite 90 N	100	100	0	3,7	4893	104	12,5	119	-4,3	-12,5	-116
9	Väkilannoite 120 N	100	100	0	3,7	5088	111	12,9	120	-11,4	-12,9	-116
10	Väkilannoite 150 N	100	100	0	3,7	4840	103	12,3	117	-3,3	-12,3	-114
<b>Keskiarvo</b>						<b>4726</b>	<b>103</b>	<b>12,1</b>	<b>114</b>	<b>-3,3</b>	<b>-12,1</b>	<b>-110</b>
Keskiarvon keskivirhe						196	3,6	0,39	4,2	4,1	0,39	4,2
P-arvot						0,13	0,17	0,052	0,22	0,26	0,052	0,22
Raakalanta vs. käsittelyjäänös						0,18	0,41	0,19	0,40	0,41	0,19	0,40
Raakalanta vs. separoitu neste						0,54	0,91	0,64	0,63	0,91	0,64	0,63
Käsittelyjäänös vs. separoitu neste						0,057	0,35	0,079	0,19	0,35	0,079	0,19

\* Koejäsen 4 ei tarpeellinen.

**Taulukko 26.** Kasvukauden 2010 nurmikokeen 2. sadon lannoitustiedot, sadot ja ravinnetaseet. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2010 2. niitto</b>												
Koe- jäsen	Lannoitus	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Kasato	N-sato	P-sato	K-sato	Ntase	Ptase	Ktase
		kg/ha				kg ka/ha				kg/ha		
1	Raakalanta	90	51	17	111	3317	48	7,6	78	41,6	9,2	33,1
2	Käsittelyjäänös	79	51	14	133	3258	52	6,5	72	27,4	8,0	61,3
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	220	90	25	170	4976	78	11,1	127	141,6	13,4	42,7
*												
5	Väkilannoite 0 N	0	0	20	110	3409	39	6,6	69	-39,0	13,4	41,1
6	Väkilannoite 30 N	30	30	20	111	4182	58	7,6	94	-27,9	12,4	17,1
7	Väkilannoite 60 N	60	60	20	112	4563	75	7,9	107	-15,2	12,1	5,4
8	Väkilannoite 90 N	90	90	20	113	4798	90	9,0	119	0,5	11,0	-6,0
9	Väkilannoite 120 N	120	120	20	114	5168	105	9,7	133	15,4	10,3	-19,2
10	Väkilannoite 150 N	150	150	20	116	5289	114	10,1	142	35,9	9,9	-25,6
<b>Keskiarvo</b>						<b>4329</b>	<b>73</b>	<b>8,5</b>	<b>104</b>	<b>20,0</b>	<b>11,1</b>	<b>16,7</b>
Keskiarvon keskivirhe						172,0	4,0	0,48	6,1	4,03	0,48	6,11
P-arvot						<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>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäänös						0,80	0,55	<b>0,031</b>	0,39	<b>0,019</b>	<b>0,024</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. separoitu neste						<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>&lt;0,001</b>	0,18
Käsittelyjäänös vs. separoitu neste						<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>&lt;0,001</b>	<b>0,014</b>

\* Koejäsen 4 ei tarpeellinen.

**Taulukko 27.** Kasvukauden 2011 nurmikokeen 1. sadon lannoitustiedot, sadot ja ravinnetaseet. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2011 1. niitto</b>		<b>Kok. N</b>	<b>Liuk. N</b>	<b>P-lann</b>	<b>K-lann</b>	<b>Kasato</b>	<b>N-sato</b>	<b>P-sato</b>	<b>K-sato</b>	<b>Ntase</b>	<b>Ptase</b>	<b>Ktase</b>
<b>Koe- jäsen</b>	<b>Lannoitus</b>	<b>kg/ha</b>				<b>kg ka/ha</b>				<b>kg/ha</b>		
1	Raakalanta	100	100	0	3,7	7679	131	18,2	183	-30,7	-18,2	-179
2	Käsittelyjäänös	100	100	0	3,7	7037	133	17,8	173	-33,3	-17,8	-169
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	100	100	0	3,7	7092	124	17,1	169	-24,4	-17,1	-166
4	Väkilannoite 0 N (2010 sep. neste)	100	100	0	3,7	7285	136	17,5	177	-35,5	-17,5	-174
5	Väkilannoite 0 N	100	100	0	3,7	7128	127	17,7	182	-27,0	-17,7	-179
6	Väkilannoite 30 N	100	100	0	3,7	7247	137	17,5	180	-36,6	-17,5	-176
7	Väkilannoite 60 N	100	100	0	3,7	7115	135	17,3	180	-35,2	-17,3	-177
8	Väkilannoite 90 N	100	100	0	3,7	7476	141	18,0	184	-40,5	-18,0	-180
9	Väkilannoite 120 N	100	100	0	3,7	7283	136	18,0	183	-36,5	-18,0	-179
10	Väkilannoite 150 N	100	100	0	3,7	7519	143	17,4	187	-42,6	-17,4	-183
<b>Keskiarvo</b>						<b>7286</b>	<b>134</b>	<b>17,6</b>	<b>180</b>	<b>-34,2</b>	<b>-17,6</b>	<b>-176</b>
Keskiarvon keskivirhe						251,2	5,2	0,47	7,0	5,87	0,52	7,03
P-arvot						0,45	0,15	0,43	0,21	0,15	0,43	0,21
Raakalanta vs. käsittelyjäänös						<b>0,038</b>	0,67	0,47	0,11	0,67	0,47	0,11
Raakalanta vs. separoitu neste						0,057	0,32	<b>0,032</b>	<b>0,039</b>	0,32	<b>0,032</b>	<b>0,039</b>
Käsittelyjäänös vs. separoitu neste						0,85	0,16	0,14	0,60	0,16	0,14	0,60

**Taulukko 28.** Kasvukauden 2011 nurmikokeen 2. sadon lannoitustiedot, sadot ja ravinnetaseet. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2011 2. niitto</b>												
Koe- jäsen	Lannoitus	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Kasato	N-sato	P-sato	K-sato	Ntase	Ptase	Ktase
		kg/ha				kg ka/ha				kg/ha		
1	Raakalanta	78	57	12	78	3833	70	13,0	115	8,4	-1,3	-36,8
2	Käsittelyjäännös	91	62	11	91	4183	77	13,5	128	13,6	-2,7	-37,1
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	160	120	21	140	4973	89	15,2	145	70,7	5,8	-4,6
4	Väkilannoite 0 N (2010 sep. neste)	0	0	0	0	2637	39	8,2	64	-39,4	-8,2	-64,1
5	Väkilannoite 0 N	0	0	20	111	2004	32	6,5	53	-31,9	13,5	58,0
6	Väkilannoite 30 N	30	30	20	112	3191	54	10,1	94	-24,5	9,8	18,0
7	Väkilannoite 60 N	60	60	20	113	4231	78	12,2	124	-18,5	7,8	-11,4
8	Väkilannoite 90 N	90	90	20	114	4172	79	11,8	127	10,7	8,2	-13,0
9	Väkilannoite 120 N	120	120	20	115	4776	99	11,8	140	21,4	8,2	-24,6
10	Väkilannoite 150 N	150	150	20	117	5083	112	12,3	147	38,0	7,7	-29,7
<b>Keskiarvo</b>						<b>3908</b>	<b>73</b>	<b>11,5</b>	<b>114</b>	<b>4,9</b>	<b>4,9</b>	<b>-14,5</b>
Keskiarvon keskivirhe						183,9	3,8	0,60	5,1	3,8	0,60	5,14
P-arvot						<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>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös						0,16	0,15	0,49	0,085	0,31	0,076	0,97
Raakalanta vs. separoitu neste						<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,009</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Käsittelyjäännös vs. separoitu neste						<b>0,003</b>	<b>0,022</b>	<b>0,045</b>	<b>0,027</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>

**Taulukko 29.** Kasvukauden 2012 nurmikokeen 1. sadon lannoitustiedot, sadot ja ravinnetaseet. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2012 1. niitto</b>												
Koe- jäsen	Lannoitus	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Kasato	N-sato	P-sato	K-sato	Ntase	Ptase	Ktase
		kg/ha				kg ka/ha				kg/ha		
1	Raakalanta	96	96	0	3,6	6976	144	19,1	159	-47,6	-19,1	-155
2	Käsittelyjäännös	96	96	0	3,6	7675	148	19,4	162	-51,9	-19,4	-159
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	96	96	0	3,6	7188	137	18,9	165	-41,0	-18,9	-162
4												
5	Väkilannoite 0 N	96	96	0	3,6	7064	134	20,6	168	-38,3	-20,6	-164
6	Väkilannoite 30 N	96	96	0	3,6	7405	139	20,5	166	-43,5	-20,5	-163
7	Väkilannoite 60 N	96	96	0	3,6	7908	149	20,3	159	-53,4	-20,3	-155
8	Väkilannoite 90 N	96	96	0	3,6	7126	141	19,0	156	-45,4	-19,0	-153
9	Väkilannoite 120 N	96	96	0	3,6	7761	151	19,7	160	-54,5	-19,7	-156
10	Väkilannoite 150 N	96	96	0	3,6	7523	137	18,5	158	-41,3	-18,5	-155
<b>Keskiarvo</b>						<b>7403</b>	<b>142</b>	<b>19,6</b>	<b>162</b>	<b>-46,3</b>	<b>-19,6</b>	<b>-158</b>
Keskiarvon keskivirhe						312,9	5,5	0,68	5,4	5,53	0,68	5,4
P-arvot						0,12	0,085	0,072	0,50	0,085	0,072	0,50
Raakalanta vs. käsittelyjäännös						0,056	0,46	0,70	0,59	0,46	0,70	0,59
Raakalanta vs. separoitu neste						0,55	0,27	0,71	0,30	0,27	0,71	0,30
Käsittelyjäännös vs. separoitu neste						0,18	0,074	0,45	0,61	0,074	0,45	0,61



**Taulukko 30.** Kasvukauden 2012 nurmikokeen 2. sadon lannoitustiedot, sadot ja ravinnetaseet. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2012 2. niitto</b>												
Koe- jäsen	Lannoitus	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Kasato	N-sato	P-sato	K-sato	Ntase	Ptase	Ktase
		kg/ha				kg ka/ha				kg/ha		
1	Raakalanta	74	37	14	93	3654	60,2	9,6	77,0	14,2	4,9	16
2	Käsittelyjäännös	47	37	9	90	3595	53,8	9,3	74,2	-6,5	-0,7	16
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	110	93	18	225	4292	67,6	10,4	88,7	42,4	7,1	136
4												
5	Väkilannoite 0 N	0	0	20	111	2837	44,1	8,2	65,7	-44,1	11,7	45
6	Väkilannoite 30 N	30	30	20	112	3763	57,2	10,4	89,9	-27,2	9,6	22
7	Väkilannoite 60 N	60	60	20	113	4240	71,6	11,4	100,8	-11,6	8,6	12
8	Väkilannoite 90 N	90	90	20	114	4398	72,5	11,0	98,8	17,5	8,9	16
9	Väkilannoite 120 N	120	120	20	116	4824	83,4	11,8	102,8	36,6	8,2	13
10	Väkilannoite 150 N	150	150	20	117	4719	80,6	11,4	97,3	69,4	8,5	19
<b>Keskiarvo</b>						<b>4036</b>	<b>65,7</b>	<b>10,4</b>	<b>88,4</b>	<b>10,1</b>	<b>7,4</b>	<b>33</b>
Keskiarvon keskivirhe						252,8	5,90	0,74	6,41	5,90	0,74	6,4
P-arvot						<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,005</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös						0,82	0,29	0,69	0,70	<b>0,002</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,95
Raakalanta vs. separoitu neste						<b>0,020</b>	0,23	0,34	0,12	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,015</b>	<b>&lt;0,001</b>
Käsittelyjäännös vs. separoitu neste						<b>0,012</b>	<b>0,029</b>	0,18	0,056	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>

**Taulukko 31.** Kasvukauden 2010 nurmikokeen kokonaissadon lannoitustasot, sadot ja ravinnetaseet. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>2010</b>													
Koe- jäsen	Lannoitus	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Kasato	ME-sato	N-sato	P-sato	K-sato	Ntase	Ptase	Ktase
		kg/ha				kg ka/ha	GJ/ha	kg ka/ha			kg/ha		
1	Raakalanta	190	151	17	115	8050	89,5	153	20,0	191	37,4	-3,16	-76,5
2	Käsittelyjäännös	179	151	14	137	7664	85,5	152	18,1	181	27,0	-3,71	-44,1
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	320	190	25	174	9854	107,3	183	23,7	243	136,9	0,79	-69,2
*													
5	Väkilannoite 0 N	100	100	20	114	7867	84,3	137	18,0	179	-37,4	1,99	-65,4
6	Väkilannoite 30 N	130	130	20	115	8854	95,7	161	19,3	207	-31,2	0,72	-91,9
7	Väkilannoite 60 N	160	160	20	116	9133	98,0	173	19,5	216	-12,8	0,47	-100,3
8	Väkilannoite 90 N	190	190	20	117	9691	103,9	194	21,5	238	-3,8	-1,52	-121,5
9	Väkilannoite 120 N	220	220	20	118	10256	109,5	216	22,7	253	4,0	-2,66	-135,4
10	Väkilannoite 150 N	250	250	20	120	10129	108,0	217	22,4	259	32,6	-2,42	-139,3
<b>Keskiarvo</b>						<b>9056</b>	<b>98,0</b>	<b>176</b>	<b>20,6</b>	<b>219</b>	<b>17,0</b>	<b>-1,05</b>	<b>-93,7</b>
Keskiarvon keskivirhe						252	2,5	5,7	0,56	7,0	5,68	0,560	7,05
P-arvot						<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>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäännös						0,28	0,26	0,96	<b>0,028</b>	0,29	0,20	0,49	<b>0,003</b>
Raakalanta vs. separoitu neste						<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>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,46
Käsittelyjäännös vs. separoitu neste						<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>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,015</b>

\* Koejäsen 4 ei tarpeellinen.

**Taulukko 32.** Kasvukauden 2011 nurmikokeen kokonaissadon lannoitustasot, sadot ja ravinnetaseet. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

2011													
Koe- jäsen	Lannoitus	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Kasato	ME-sato	N-sato	P-sato	K-sato	Ntase	Ptase	Ktase
		kg/ha				kg ka/ha	GJ/ha	kg ka/ha			kg/ha		
1	Raakalanta	178	157	12	82	11512	119,7	200	31,1	298	-22,3	-19,4	-216
2	Käsittelyjäänös	191	162	11	94	11221	117,1	210	31,3	300	-19,7	-20,5	-206
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	260	220	21	144	12065	123,3	214	32,3	314	46,4	-11,3	-170
4	Väkilannoite 0 N (2010 sep. neste)	100	100	0	4	9922	105,4	175	25,7	241	-74,9	-25,7	-238
5	Väkilannoite 0 N	100	100	20	115	9132	93,4	159	24,2	235	-58,9	-4,2	-121
6	Väkilannoite 30 N	130	130	20	116	10388	106,5	191	27,6	273	-60,5	-7,6	-158
7	Väkilannoite 60 N	160	160	20	117	11346	117,3	214	29,4	305	-53,7	-9,5	-188
8	Väkilannoite 90 N	190	190	20	118	11649	118,9	220	29,7	311	-29,9	-9,7	-193
9	Väkilannoite 120 N	220	220	20	119	12060	122,8	235	29,8	322	-15,1	-9,8	-203
10	Väkilannoite 150 N	250	250	20	121	12602	129,1	255	29,7	334	-4,7	-9,7	-213
<b>Keskiarvo</b>						<b>11190</b>	<b>115,3</b>	<b>207</b>	<b>29,1</b>	<b>293</b>	<b>-29,3</b>	<b>-12,7</b>	<b>-191</b>
Keskiarvon keskivirhe						433,9	4,7	8,9	0,97	10,8	8,94	0,97	10,78
P-arvot						<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>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäänös						0,52	0,61	0,29	0,83	0,81	0,79	0,26	0,38
Raakalanta vs. separoitu neste						0,23	0,48	0,16	0,25	0,15	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Käsittelyjäänös vs. separoitu neste						0,071	0,22	0,72	0,34	0,23	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,003</b>

**Taulukko 33.** Kasvukauden 2012 nurmikokeen kokonaissadon lannoitustasot, sadot ja ravinnetaseet. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

2012													
Koe- jäsen	Lannoitus	Kok. N	Liuk. N	P-lann	K-lann	Kasato	ME-sato	N-sato	P-sato	K-sato	Ntase	Ptase	Ktase
		kg/ha				kg ka/ha	GJ/ha	kg ka/ha			kg/ha		
1	Raakalanta	170	133	14	96	10630	112,8	204	28,7	236	-33,4	-14,3	-140
2	Käsittelyjäänös	143	133	9	94	11270	117,6	202	28,7	237	-58,4	-20,1	-143
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	206	189	18	229	11480	116,0	205	29,3	254	1,3	-11,8	-26
*													
5	Väkilannoite 0 N	96	96	20	115	9901	100,4	178	28,9	234	-82,4	-8,9	-119
6	Väkilannoite 30 N	126	126	20	116	11168	113,4	197	31,0	256	-70,7	-11,0	-140
7	Väkilannoite 60 N	156	156	20	117	12148	124,9	221	31,6	259	-65,1	-11,7	-143
8	Väkilannoite 90 N	186	186	20	118	11524	118,0	214	30,0	255	-27,9	-10,1	-137
9	Väkilannoite 120 N	216	216	20	119	12585	130,7	234	31,5	262	-17,9	-11,5	-143
10	Väkilannoite 150 N	246	246	20	120	12242	123,3	218	30,0	256	28,1	-10,0	-135
<b>Keskiarvo</b>						<b>11439</b>	<b>117,5</b>	<b>208</b>	<b>30,0</b>	<b>250</b>	<b>-36,3</b>	<b>-12,1</b>	<b>-125</b>
Keskiarvon keskivirhe						400,0	4,37	9,1	1,14	10,2	9,14	1,14	10,2
P-arvot						<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,19	0,10	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Raakalanta vs. käsittelyjäänös						0,17	0,33	0,83	0,97	0,97	<b>0,017</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,81
Raakalanta vs. separoitu neste						0,072	0,52	0,93	0,69	0,12	<b>0,002</b>	0,075	<b>&lt;0,001</b>
Käsittelyjäänös vs. separoitu neste						0,65	0,74	0,76	0,67	0,13	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>

\*Koejäsentä 4 ei toteutettu.

## 3.8. Ohrakokeen maa-analyysit

### 3.8.1. Muokkauskerroksen viljavuusfosforin ja -kaliumin pitoisuudet

Maanäytteet otettiin syksyllä (2009–2011) ruuduittain kolmesta eri syvyydestä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tulokset on esitetty taulukoissa 34–42. Maanäyteaineiston tilastolliset testit osoittivat, että vuonna 2009 joillakin ruuduilla esiintyi poikkeuksellisen korkeita mm. fosforin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksia, ja näitä ruutuja jouduttiin poistamaan analyysistä. Muina vuosina vastaavaa ei havaittu, sillä kokeen paikkaa vaihdettiin vuoden 2009 jälkeen.

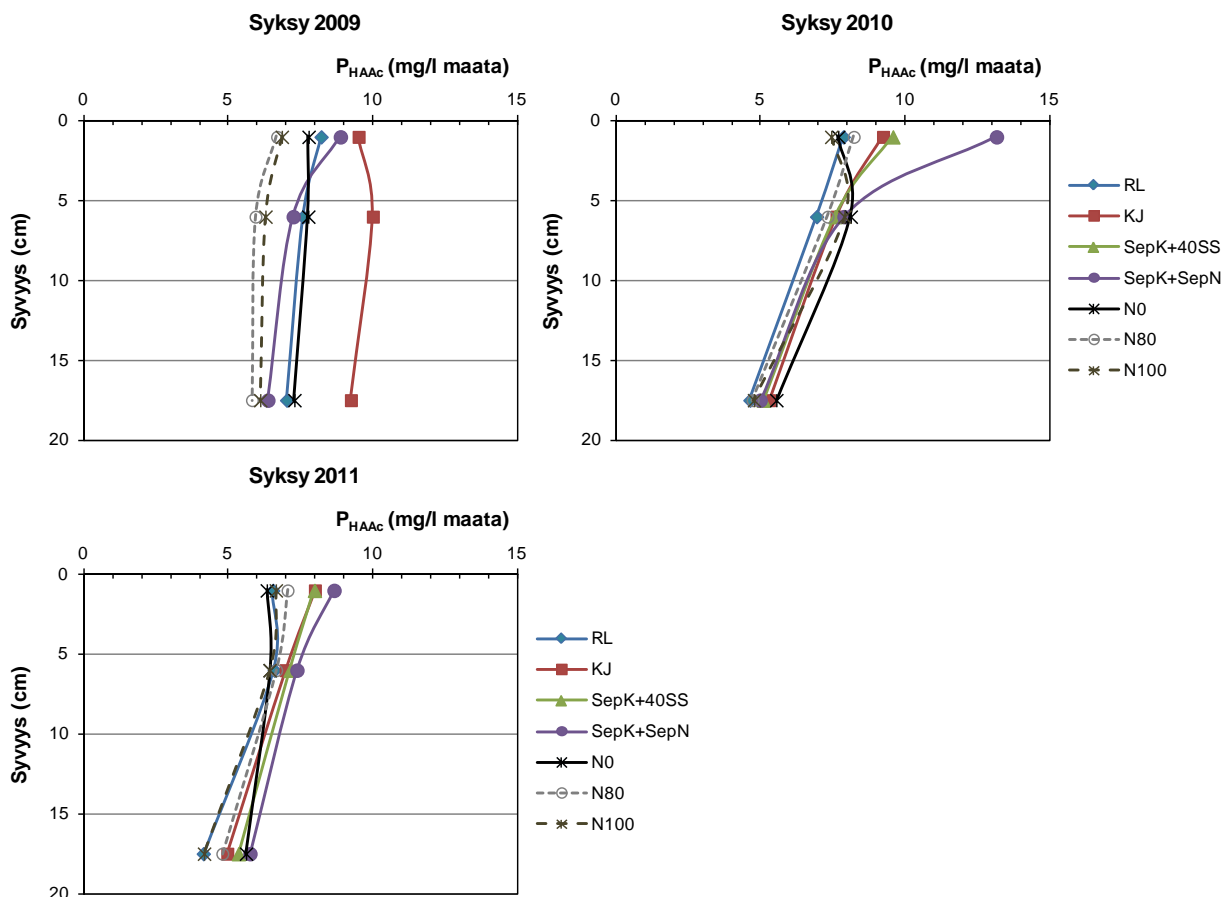
Maan fosforitilan seuraamiseksi sadonkorjuun jälkeen otetuista maanäytteistä analysoitiin happamaan ammoniumasetattiin uuttuva helppoliukoinen fosfori eli viljavuusfosfori ( $P_{\text{HAAc}}$ ). Viljavuusfosforin pitoisuudet pienenevät syvyyden myötä ja olivat yleensä suurempia aivan maan 0–2 cm:n pintakerroksessa kuin vastaavasti syvemmällä 2–10 ja 10–25 cm:n maakerroksissa (Kuva 19, Taulukot 34, 37 ja 40). Koevuosien 2009–2011 aikana pintamaakerroksen viljavuusfosforin pitoisuudet vaihtelivat välillä 6,3–13,2 mg  $P_{\text{HAAc}}$ /l maata. Perustamisen yhteydessä separoidun kuivajakeen ja nestejakeen oraille pintalevityksenä saanut koejäsen sai koevuosien aikana lannoitteessa muita enemmän fosforia (20–34 kg P/ha vs. muut orgaaniset lannoitteet 11–24 kg P/ha, väkilannoitteet 15 kg P/ha), mikä kasvatti vuonna 2010 tilastollisesti merkitsevästi pintamaan fosforipitoisuutta raakalantaa ( $p < 0,001$ ), käsittelyjäännöstä ( $p = 0,010$ ) ja separoitua kuivajaetta ( $p = 0,011$ ) saaneisiin koejäseniin verrattuna. Fosforimäärän lisäksi koekäsittelyiden välisten erojen selittäjänä oli osin myös levitystapa (pintalevitys vs. sijoittaminen). Raakalantaa saaneilla ruuduilla maan fosforipitoisuudet olivat samalla tasolla kuin väkilannoiteruuduilla ja orgaanisten lannoitteiden välisessä kontrastitarkastelussa vuonna 2011 tilastollisesti merkitsevästi pienemmät kuin käsittelyjäännöstä ( $p = 0,019$ ), separoitua kuivajaetta ( $p = 0,006$ ) sekä perustettaessa kuivajakeen ja nesteen oraille ( $p < 0,001$ ) saaneilla koejäsenillä.

Naudan lietelantapohjainen käsittelyjäännös näytti nostavan maan viljavuusfosforin pitoisuutta enemmän kuin raakalanta, vaikka molemmat levitettiin sijoittamalla ja levitysten yhteydessä annettiin keskimäärin yhtä paljon fosforia. Mineraalilannoiteperäisen fosforin on havaittu pidättyvän maahan karjanlantafosforia tehokkaammin (Øgaard 1996, Jiao ym. 2007). Karjanlannan fosforin heikompi pidättyminen voi parantaa lantafosforin käyttökelpoisuutta kasveille ja toisaalta taas lisätä sen huuhtoutumisalttiutta. Eroa pidättymistehokkuudessa on selitetty sillä, että fosfaatin kanssa samoista pidättymispaikoista kilpailevat myös humuksen ja pienimolekyylisten orgaanisten happojen anionit, jotka oksidipintoja täyttämällä heikentävät fosforin sitoutumista (Øgaard 1996, Haynes & Mokolobate 2001, Hartikainen 2004, Jiao ym. 2007). Øgaardin (1996) mukaan karjanlannan kompostointi näytti vähentävän maloni-, sitruuna- ja viinihappojen pitoisuuksia, ja kompostoidun lannan sisältämä fosfori pidättyi maahan paremmin kuin raakalannan fosfori. Koska biokaasuprosessi vaikuttaa hajoavan ja hajoamatta jääneen orgaanisen aineen osuuksiin (Luostarinen ym. 2011), on todennäköistä, että se voi osaltaan heijastua myös fosforin sitoutumisreaktioihin maassa.

Orgaaniset yhdisteet voivat ainakin jossakin määrin edistää hiukkaspinoille kertyneen labiilin fosforin mobilisoitumista, mutta viljelykasvien fosforitarpeen tyydyttämiseksi niillä ei ole vaikutusta vaikeasti rapautuviin apatiittisiin fosforireserveihin (Hartikainen 2004). Haynesin & Mokolobaten (2001) mukaan orgaaninen aines voi vähentää fosforin pidättymistä ja parantaa sen biologista saatavuutta happamissa maissa joko välittömien tai välillisten vaikutusten kautta (orgaanisen aineksen sisältämä fosfori, pH:n nousu, humusaineet ja alifaattiset orgaaniset hapot). Vaikka eri tekijöiden suhteellista merkitystä ei vielä kaikilta osin tunneta, todennäköisesti ensisijainen tekijä on kuitenkin orgaanisesta aineksesta vapautuvan fosforin pidättyminen hiukkaspinoille. Pidättävien pintojen täyttymisasteen kasvu vaikeuttaa fosforin pidättymistä, mikä taas edistää myöhemmin lisätyn fosforin saatavuutta.

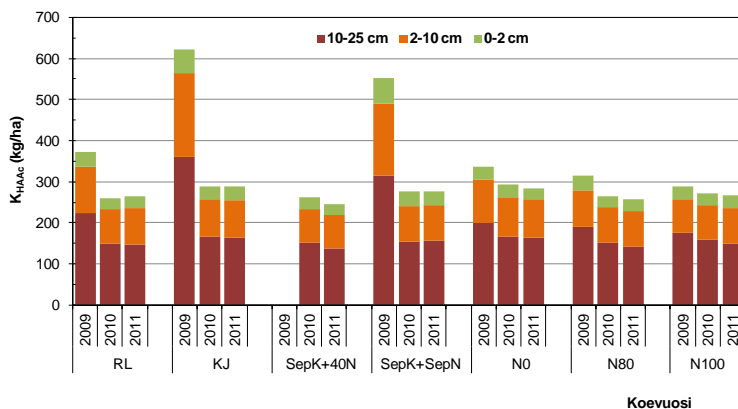
Biokaasuprosessin on havaittu aiheuttavan muutoksia lannan fosforin liukoisuudessa, mitkä voivat heijastua muutoksina sen biologisessa käyttökelpoisuudessa ja huuhtoutumisherkkyudessa. Ai-

emmissä suomalaisissa tutkimuksissa Salo ym. (2011) ja Ylivainio & Turtola (2013) ovat selvittäneet biokaasuprosessin vaikutusta lantafosforin liukoisuuteen ns. Hedleyn fraktiointimenetelmällä, jossa fosforifraktioiden biologinen käyttökelpoisuus alenee uuttoprosessin edetessä. Menetelmässä  $H_2O$ - ja  $NaHCO_3$ -uuttoisten fosforifraktioiden katsotaan edustavan helposti mobilisoituvia ja biologisesti käyttökelpoisia fosforivaroja, kun taas  $NaOH$ - ja  $HCl$ -uuttoiset varat ovat hitaasti mobilisoituvia ja huonosti käytettävissä olevia. Edellä mainituissa tutkimuksissa oli mukana myös Luke Maaningan biokaasulaitoksen reaktorista ja sen jälkikaasualtaasta peräisin olevaa naudan lietelannan ja nurmi-säilörehun (8 % syötteen tuoremassasta) yhteiskäsittelyn muodostamaa käsittelyjäännöstä. Vaikka biokaasuprosessi pienensi vesiliukoisien fosforin osuutta fraktioiden summasta, lisäsi se  $NaHCO_3$ -liukoisien fosforin osuutta, minkä seurauksena kasveille käyttökelpoisina pidetyt fosforivarat kasvoivat 81 %:sta 86 %:iin. Raakalantaan verrattuna orgaanisten fraktioiden yhteenlaskettu fosforipitoisuus pieneni keskimäärin noin 0,3 g/kg. Epäorgaanisten fraktioiden yhteenlaskettu fosforipitoisuus sitä vastoin kasvoi reaktorin ja jälkikaasualtaan jälkeen kaikkiaan keskimäärin n. 2,1 g/kg, mikä näkyi ennen kaikkea  $NaHCO_3$ -uuttoisen epäorgaanisen fosforijakeen kasvuna. Tämä on todennäköisesti selitettävissä lisäsyötteen ominaisuuksien ja ravinteiden konsentroitumisen lisäksi sillä, että biokaasuprosessi tehosti raakalannan fraktioinnissa uuttumattoman (stabiilin) orgaanisen fosforin mikrobiologista pilkkoutumista epäorgaaniseen muotoon. Turnerin ja Leytemin (2004) mukaan vesi ja  $NaHCO_3$  uuttavat lannasta epäorgaanista fosfaattia ja orgaanisista fosforiyhdisteistä mm. fosfolipidejä, nukleiinihappoja ja yksinkertaisia monoesterifosfaatteja, kun taas  $NaOH$  ja  $HCl$  uuttavat mm. fytiinihappoa.



**Kuva 19.** Helppoliukoisien fosforin eli viljavuusfosforin ( $P_{HAAC}$ , mg/l maata) pitoisuudet 0–2, 2–10 ja 10–25 cm:n maakerroksissa syksyllä 2009–2011 otetuissa näytteissä. Koejäsenet: RL (1) = Raakalanta, KJ (2) = Käsittelyjäännös, SepK+40SS (3) = Käsittelyjäännöksestä separoitu kuivajae + 40 kg N/ha Suomensalpietarina, SepK+SepN (4) = Käsittelyjäännöksestä separoitu kuivajae + nestejae oraille, N0 (5) = Väkilannoite 0 kg N/ha, N80 (9) = Väkilannoite 80 kg N/ha ja N100 (10) = Väkilannoite 100 kg N/ha. Ohrakokeen paikka vaihtui vuoden 2009 jälkeen. (Ks. Taulukko 1.)

Vuoden 2009 koepaikassa ammoniumasetaattiuttoisen vaihtuvan kaliumin eli ns. viljavuuskaliumin pitoisuuksissa (102–315 mg  $K_{HAAC}$ /l maata) esiintyi suurta vaihtelua niin orgaanisia kuin epäorgaanisia lannoitteita saaneiden koejäsenten välillä (Taulukko 34). Muokkauskerros sisälsi hehtaaria kohti laskettuna runsaasti kaliumia etenkin koejäsenillä, jotka saivat käsittelyjäännöstä ja sekä perustettaessa siitä separoidun kuivajakeen että oraalle nestejakeen (Kuva 20). Käsittelyjäännöksen ja siitä separoitujen kuiva- ja nestejakeiden kaliumpitoisuudet olivat lisäyötteiden vuoksi raakalantaa korkeammat, mutta kun huomioidaan levitysmäärät, levitettiin raakalannan yhteydessä enemmän kaliumia kuin käsittelyjäännöstä levitettäessä. Sinällään lannan kalium on epäorgaanisessa ja valtaosin vesiliukoisessa muodossa ja sen katsotaankin vastaavan käyttökelpoisuudeltaan väkilannoitekaliumia. Koska korkeita kaliumpitoisuuksia esiintyi kuitenkin myös 40 ja 60 kg/ha väkilannoitetyypeä saaneilla koejäsenillä (ko. ei ole esitetty kuvassa), on vaihtelu selitettävissä maaperän heterogeenisuudella. Kokeen paikka vaihdettiin ja uuden koealueen alkumaanäytteet edustivat kaliumin osalta viljavuusluokkaa välttävä, kun kaliumluku oli alkuperäisessä koepaikassa viljavuusluokassa hyvä. Koepaikan vaihdon jälkeen kaliumpitoisuuksien vaihtelu oli edellisvuotta pienempää (92–183 mg  $K_{HAAC}$ /l maata) (Taulukot 37 ja 40), minkä vuoksi koekäsittelyiden väliset erot muokkauskerroksen kaliumvaroissa olivat vähäisiä. Koevuosien 2010–2011 aikana kaliumvarojen muutos oli hyvin pientä tai lähes olematonta.



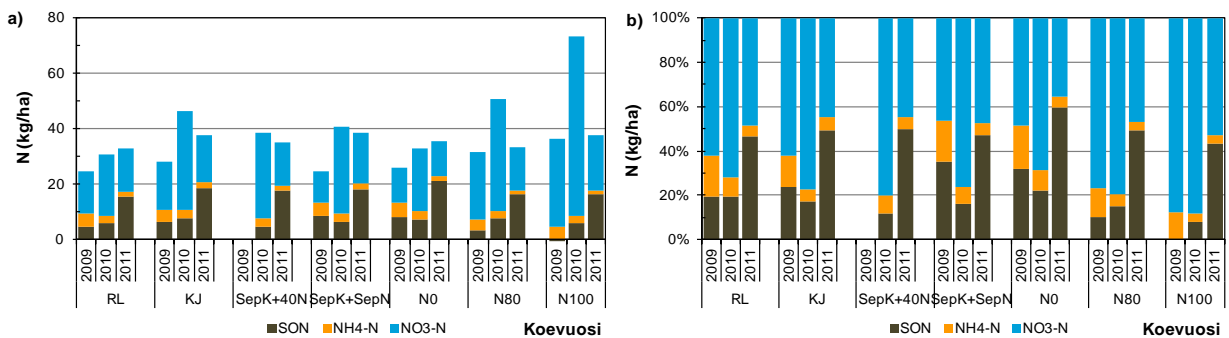
**Kuva 20.** Muokkauskerroksen (0–25 cm) hehtaaria kohti lasketun vaihtuvan kaliumin eli viljavuuskaliumin määrä ( $K_{HAAC}$ , kg/ha) syksyllä 2009–2011 otetuissa maanäytteissä. Koejäsenet: RL (1) = Raakalanta, KJ (2) = Käsittelyjäännös, SepK+40SS (3) = Käsittelyjäännöksestä separoitu kuivajae + 40 kg N/ha Suomensalpietarina, SepK+SepN (4) = Käsittelyjäännöksestä separoitu kuivajae + nestejake oraalle, N0 (5) = Väkilannoite 0 kg N/ha, N80 (9) = Väkilannoite 80 kg N/ha ja N100 (10) = Väkilannoite 100 kg N/ha. Ohrakokeen paikka vaihtui vuoden 2009 jälkeen. (Ks. Taulukko 1.)

### 3.8.2. Muokkauskerroksen liukoinen epäorgaaninen ja orgaaninen tyyppi

Syksyllä 2010 ohraruutujen muokkauskerroksessa (0–25 cm) oli kokonaistyyppiä 3,9–4,5 t/ha ja syksyllä 2011 hieman vähemmän, 3,1–4,3 t/ha (painotettu N-% 0,13–0,18). Alkuperäisessä vuoden 2009 koepaikassa kokonaistyyppiä oli karkeasti kaksinkertainen määrä uuteen koepaikkaan verrattuna (7,6–8,9 t/ha; painotettu N-% 0,30–0,36) (Taulukot 34, 37 ja 40), mutta se ei lisännyt syksyllä otettujen maanäytteiden liukoisen tyyppien pitoisuuksia. Suomessa viljelyksessä olevien kivennäismaiden muokkauskerroksessa kokonaistyyppiä on yleensä yli 3,0 t/ha (0,15–0,20 N-%), kun taas turvemaissa sitä on huomattavasti enemmän (0,78 N-%) (Sippola & Ylärinta 1985). Laidunnurmella kokonaistyyppimäärän on havaittu olevan keskimäärin 14,4 t/ha 0–60 cm:n maakerroksessa (Saarijärvi & Virkajärvi 2009). Valtaosa (yli 90 %) kokonaistyyppistä on sitoutunut orgaaniseen ainekseen, ja se muodostuu sekä vaikeasti hajoavista (humus) että helposti hajoavista yhdisteistä (esim. urea, proteiinit ja muut eliöistä peräisin olevat tyyppiyhdisteet). Siten maaperän tyyppistä yleensä vain muutama prosentti on

epäorgaanisena ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )- ja nitraattityyppinä ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) eli liukoisena mineraalityyppinä, jotka ovat biologisesti heti käytettävissä olevia tyyppiyhdisteitä (Paasonen-Kivekäs 2009). Korkeampia epäorgaanisen tyypin pitoisuuksia voi kuitenkin esiintyä esim. runsaan lannoituksen tai maan jääty-mis-sulamis -syklin jälkeen (Saarijärvi ym. 2006d). Viljelysmaan jäätyminen ja sulaminen voi kiihdyttää tyypin kaasumaisia päästöjä ja lisätä huuhtoutumista, joita on selitetty mm. tyypin vapautumisella mikro-organismeista ja juuristosta sekä muutoksilla maan rakenteessa, kun esim. makro- ja mikroagregaattien hajotessa aiemmin fysikaalisesti suojassa ollut orgaaninen aines mineralisoituu (Matzner & Borken 2008).

Tässäkin tutkimuksessa maksimissaan vain noin kaksi prosenttia muokkauskerroksen kokonaistyypestä oli koevuosien 2009–2011 aikana liukoisessa KCl-uttoisessa muodossa (24–73 kg/ha) (Kuvat 21a ja 22), ja siitä liukoinen orgaaninen tyyppi (SON) muodosti suurimmillaan n. 60 % (Kuva 21b). Liukoinen epäorgaaninen tyyppi ( $\text{NH}_4\text{-N}$  +  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) oli valtaosin, yli 70 %, nitraattimuodossa, mikä kertoo ammoniumin nitrifioitumisesta nitraatti-anioniksi. Syksyllä 2010 muokkauskerroksessa oli hehtaaria kohti laskettuna liukoista kokonaistyyppiä 29–73 kg/ha, josta epäorgaaninen tyyppi muodosti suurimman osan (24–67 kg/ha; 21–65 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha). Syksyllä 2011 epäorgaanista tyyppiä oli huomattavasti vähemmän kuin edellisellä syksynä (14–21 kg/ha; 13–20 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha), ja liukoisen orgaanisen tyyppimäärän kasvaessa sen osuus liukoisesta kokonaistyypestä oli myös edellisvuotta pienempi (41–57 %). Joki-Tokola ym. (2002) selvittivät Ruukissa 1998–2001 toteutetussa kenttäkokeessa, miten nurmen lietelannan levitysajankohta vaikuttaa nurmen suojakasviksi kylvetyn ohran kokoviljastoon, ja havaitsivat syksyllä koeruu-tujen muokkauskerroksessa vastaavia epäorgaanisen tyypin määriä.



**Kuva 21.** a) Muokkauskerroksen (0–25 cm) liukoisen epäorgaanisen ( $\text{NH}_4\text{-N}$  +  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ja liukoisen orgaanisen tyypin (SON) määrä (kg/ha) syksyllä 2009–2011 otetuissa maanäytteissä. b) KCl-uttoisten tyyppifraktioiden suhteelliset %-osuudet liukoisesta kokonaistyypestä (= 100 %). SON = liukoinen kokonaistyyppi – ( $\text{NH}_4\text{-N}$  +  $\text{NO}_3\text{-N}$ ). Koejäsenet: RL (1) = Raakalanta, KJ (2) = Käsittelyjäännös, SepK+40SS (3) = Käsittelyjäännöksestä separoitu kuivajae + 40 kg N/ha Suomensalpietarina, SepK+SepN (4) = Käsittelyjäännöksestä separoitu kuivajae + nestejake oraille, N0 (5) = Väkilannoite 0 kg N/ha, N80 (9) = Väkilannoite 80 kg N/ha ja N100 (10) = Väkilannoite 100 kg N/ha. Ohrakokeen paikka vaihtui vuoden 2009 jälkeen. (Ks. Taulukko 1.)

Vaikka väkilannoitetyyppiä saaneilla koejäsenillä tyyppitase kasvoi väkilannoitteessa annetun tyyppimäärän kasvaessa, näkyi se ainoastaan syksyllä 2010 otetuissa maanäytteissä. Tällöin liukoisen kokonaistyyppin ja etenkin nitraattityypin pitoisuudet maassa kasvoivat tyyppilannoitusmäärän lisäyksen myötä.

Orgaanisten lannoitteiden välinen kontrastitarkastelu osoitti, että syksyllä 2010 raakalantaa saaneeseen koejäseneseen verrattuna käsittelyjäännös nosti muokkauskerroksen nitraattityypin ( $p = 0,042$ ) ja liukoisen kokonaistyyppin ( $p = 0,027$ ) pitoisuutta, kun taas nestejakeen levitys (kuivajae annettu perustettaessa) lisäsi ammoniumtyypin pitoisuutta ( $p = 0,034$ ) (Taulukko 39). Muina vuosina orgaanisia lannoitteita saaneiden koejäsenten välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja maan tyyppipitoisuuksissa (Taulukot 36 ja 42).



Lannoittamattomaan koejäseneseen verrattuna käsittelyjäännöksen sekä siitä separoitujen jakeiden levittäminen ja väkilannoitus 60–100 kg/ha typpimäärällä lisäsivät vuonna 2010 epäorgaanisen typen, etenkin nitraattitypen pitoisuuksia kahdessa ylimmässä pintamaakerroksessa (lisäys 6–33 mg  $\text{NO}_3\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N/kg}$ ), kun taas syvemmällä maassa typpipitoisuuksissa ei ollut selviä eroja suurinta väkilannoitustasoa lukuun ottamatta (lisäys 8 mg/kg). Maanäytteiden perusteella käyttämättä jäänyttä typpeä ei ole muutoin merkittävässä määrin huuhtoutunut 10–25 cm:n maakerrokseen ja säilynyt siinä huuhtoutumatta syvemmälle.

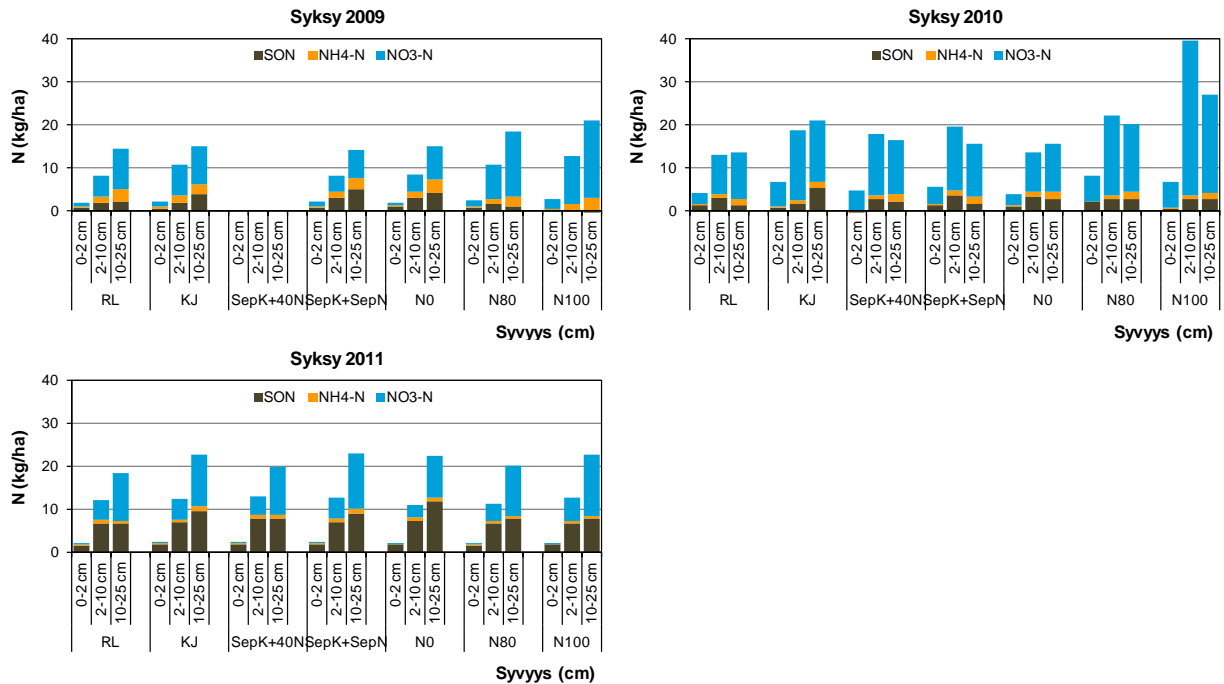
Käsittelyjäännöstä saaneen koejäsenen syksyllä muokkauskerroksessa oleva epäorgaanisen typen määrä (39 kg/ha) vastasi väkilannoituksena 60 kg N/ha saaneen koejäsenen typpimäärää. Raakalannan lisäys ei nostanut maan epäorgaanisen typen pitoisuuksia, vaikka kokonaistypen ja liukoisen typen osalta levitysmäärät vastasivatkin käsittelyjäännöstä. On mahdollista, että käsittelyjäännöksen sisältämä orgaaninen typpi on osin raakalantaa helpommin mineralisoituvaa.

Kun huomioidaan koevuosien aikana ilman lannoitusta saatu typpisato 40–58 kg/ha ja syksyllä muokkauskerroksessa epäorgaanisessa muodossa ollut typpimäärä 14–26 kg/ha, on maan orgaanisesta aineksesta mineralisoitunut typpeä vähintään 62–76 kg/ha/v, mikä vastasi Joki-Tokolan ym. (2002) havaitsemaa mineralisoitunutta typpimäärää ilman typpilannoitusta kasvatetulla ohralla. Sipola (1986) on arvioinut, että maan typen keskimääräinen mineralisoitumisnopeus eri maalajeilla on 0,3–0,5 kg/ha/vrk metrin syvyisessä maakerroksessa, mikä vastaisi tässä tutkimuksessa keskimäärin 91 vrk kestäneen ohran kasvukauden aikana 27–46 kg/ha mineralisoitunutta typpimäärää. Yleistäen maan kokonaistyppivarjoista vain muutaman prosentin (1–2 %) on arvioitu mineralisoituvan kasvukauden aikana (Stevenson & Cole 1999).

Viljelysmaille on tyypillistä epäorgaanisen typen pitoisuuden ajallinen ja paikallinen vaihtelu (Ma & Dwyer 1999, Baxter & Oliver 2003, Keskinen 2005). Vaihtelua on selitetty etenkin ympäristöolosuhteilla (lämpötila, sadanta), kasvillisuudella sekä maaperän luontaisilla ominaisuuksilla, ja sen on havaittu lisääntyvän typpilannoitustason kasvaessa (Ma & Dwyer 1999, Stevenson & Cole 1999). Orgaanisen aineksen pitoisuuden, lajitekoostumuksen, kosteuspitoisuuden, maanpinnan korkeussuhteiden sekä edellisen kasvukauden satotason on havaittu selittävän esimerkiksi ennen kevätlannoitusta englantilaiselta kuuden hehtaarin syysohralohkolta otettujen maanäytteiden epäorgaanisen typpimäärän (16–157 kg N/ha 90 cm:ssä maata) paikallista vaihtelua (Baxter & Oliver 2003). Tässäkin tutkimuksessa nitraattityppipitoisuuden vaihtelu vuosien välillä oli varsin suurta, ja korkeita nitraattitypen pitoisuuksia esiintyi etenkin sadonkorjuun jälkeen syksyllä 2010 otetuissa maanäytteissä (Kuva 22). Todennäköisesti tähän on syynä poikkeuksellisen lämmin ja vähäsateinen heinäkuu, ja käyttämättä jäänyttä ja orgaanisista typpiyhdisteistä mineralisaatiossa vapautunutta typpeä on säilynyt maassa typpeä ottavan kasvuston ja sateiden puuttuessa. Kun huuhtoutumista aiheuttavia sateita ei esiinny, mineralisoitunutta typpeä on havaittu kertyvän maahan kasvuston vanhenemisprosessin (seneskenssi) ja typen oton vähenemisen myötä (Murphy ym. 2007).

Nitraatti-anionin sitoutuminen tapahtuu epäspesifisesti eli elektrostaattisin vetovoimin positiivisesti varatuille pinnoille. Käytännössä nitraatin pidätyksien maahan on hyvin epätodennäköistä, koska suomalaisissa maissa positiivisia varauspaikkoja esiintyy vain hyvin happamissa oloissa (Hartikainen 2009b). Jos nitraatti ei sitoudu biomassaan, se kulkeutuukin valuntatilanteissa helposti pinta- ja pohjavesiin. Nitraatin lisäksi typen huuhtoutumista voi tapahtua myös ammoniummuodossa ja orgaanisena typpinä. Vaikka epäorgaanisen typpipitoisuuden ajallinen ja paikallinen vaihtelu vaikeuttaa tulosten tulkintaa, on kasvukauden jälkeen syksyllä maassa olevan nitraattitypen katsottu kuvastavan typen huuhtoutumisriskiä. Tulosten perusteella orgaanisten lannoitteiden huuhtoutumispotentiaali ei ollut tässä tutkimuksessa väkilannoitteita suurempi. Jos taas arviointi pohjautuu vuosien 2010–2011 typpitaseisiin, joissa ei ole huomioitu orgaanisista lannoitteista haihtumisena ja huuhtoutumisena tapahtuvaa typpihävikkiä, vastaa raakalannan ja käsittelyjäännöksen huuhtoutumisriski suurinta väkilannoitetyppilisäystä. Salon & Turtolan (2006) mukaan vuosittainen typpitase ei kuitenkaan ole vaihtelevissa ilmasto-oloissamme käyttökelpoinen typen huuhtoutumisriskin indikaattori, ja orgaaniseen ainekseen varastoitunutta typpeä voi olosuhteista riippuen huuhtoutua pitkänkin aikaa.

Useamman vuoden keskiarvoista laskettu typpitase antaa kuitenkin kuvan typen potentiaalisesta huuhtoutumisriskistä.



**Kuva 22.** Liukoisen epäorgaanisen ( $\text{NH}_4\text{-N}$  +  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ja liukoisen orgaanisen typen (SON) määrä (kg/ha) 0–2, 2–10 ja 10–25 cm:n maakerroksissa syksyllä 2009–2011 otetuissa näytteissä. SON = liukoinen kokonaistyyppi – ( $\text{NH}_4\text{-N}$  +  $\text{NO}_3\text{-N}$ ). Koejäsenet: RL (1) = Raakalanta, KJ (2) = Käsittelyjäänös, SepK+40SS (3) = Separoitu kuivajae + 40 kg N/ha Suomensalpietarina, SepK+SepN (4) = Separoitu kuivajae + nestejäte oraille, NO (5) = Väkilannoite 0 kg N/ha, N80 (9) = Väkilannoite 80 kg N/ha ja N100 (10) = Väkilannoite 100 kg N/ha. Ohrakokeen paikka vaihtui vuoden 2009 jälkeen. (Ks. Taulukko 1.)

**Taulukko 34.** Ohrakokeelta syksyllä 2009 otettujen maanäytteiden orgaanisen hiilen (C), kokonaistypen (N), kaliumin ( $K_{HAAC}$ ) ja fosforin ( $P_{HAAC}$ ) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

## Ohra 2009

Koe- jäsen	Lannoitus	C			N			$K_{HAAC}$ **			$P_{HAAC}$		
		%			%			mg/l maata			mg/l maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	5,38	5,29	4,99	0,33	0,33	0,31	177	140	150	8,21	7,58	7,01
2	Käsittelyjäännös	5,51	5,58	5,16	0,34	0,34	0,32	278	255	241	9,51	10,00	9,24
*													
4	Separoitu kuiva + neste oraille	5,72	5,82	5,61	0,35	0,36	0,34	315	218	211	8,88	7,24	6,36
5	Väkilannoite 0 N	6,13	6,07	5,72	0,37	0,37	0,35	154	131	134	7,78	7,76	7,28
6	Väkilannoite 20 N	5,00	5,06	4,86	0,31	0,31	0,30	207	181	200	8,14	7,81	6,67
7	Väkilannoite 40 N	5,08	5,04	4,82	0,31	0,32	0,30	229	201	234	8,46	9,31	8,19
8	Väkilannoite 60 N	5,55	5,45	5,26	0,34	0,33	0,32	252	211	238	7,29	7,84	6,56
9	Väkilannoite 80 N	5,62	5,57	5,51	0,35	0,34	0,34	180	113	126	6,68	5,94	5,81
10	Väkilannoite 100 N	5,50	5,53	5,28	0,34	0,34	0,33	158	102	118	6,85	6,28	6,10
	<b>Keskiarvo</b>	<b>5,50</b>	<b>5,49</b>	<b>5,25</b>	<b>0,34</b>	<b>0,34</b>	<b>0,32</b>	<b>217</b>	<b>172</b>	<b>183</b>	<b>7,98</b>	<b>7,75</b>	<b>7,03</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,344			0,020						1,427	
P-arvot	Koejäsen		0,49			0,55				0,28		0,53	
	Syvyys		0,089			<b>&lt;0,001</b>				<b>0,042</b>		<b>&lt;0,001</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,78			0,82				<b>0,011</b>		<b>0,041</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,68			0,69				0,16		0,21	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste		0,53			0,56				0,88		0,22	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste		0,30			0,33				0,21		0,94	

\* Koejäsen 3 ei toteutunut. \*\* Käytetty logaritimuunnosta.

**Taulukko 35.** Ohrakokeelta syksyllä 2009 otettujen maanäytteiden pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> sekä kalsiumin (Ca<sub>HAAc</sub>), magnesiumin (Mg<sub>HAAc</sub>) ja rikin (S<sub>HAAc</sub>) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Ohra 2009**

Koe- jäsen	Lannoitus	pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> **			Ca <sub>HAAc</sub> mg/l maata			Mg <sub>HAAc</sub> mg/l maata			S <sub>HAAc</sub> *** mg/l maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	6,26	6,32	6,29	2177	2223	2148	320	323	325	11,1	11,7	11,7
2	Käsittelyjäännös	6,44	6,44	6,45	2420	2414	2426	328	333	330	12,4	12,6	13,8
*													
4	Separoitu kuiva + neste oraille	6,37	6,29	6,34	2357	2346	2437	335	335	345	11,8	14,0	12,3
5	Väkilannoite 0 N	6,15	6,12	6,19	2250	2307	2307	302	306	319	13,3	20,3	13,2
6	Väkilannoite 20 N	6,31	6,31	6,34	2134	2233	2214	309	319	331	12,0	24,8	12,4
7	Väkilannoite 40 N	6,28	6,30	6,33	2297	2400	2326	326	330	341	15,7	30,3	14,8
8	Väkilannoite 60 N	6,29	6,27	6,37	2394	2560	2494	319	335	339	15,7	48,2	16,5
9	Väkilannoite 80 N	6,07	6,17	6,17	2154	2338	2163	302	321	317	19,0	19,6	11,9
10	Väkilannoite 100 N	6,14	6,19	6,29	2177	2277	2193	299	305	309	18,1	28,7	12,4
<b>Keskiarvo</b>		<b>6,25</b>	<b>6,27</b>	<b>6,31</b>	<b>2262</b>	<b>2344</b>	<b>2301</b>	<b>316</b>	<b>323</b>	<b>328</b>	<b>14,3</b>	<b>23,4</b>	<b>13,2</b>
Keskiarvon keskivirhe		.			157,8			14,1			.		
P-arvot	Koejäsen	0,11			0,21			0,46			<b>&lt;0,001</b>		
	Syvyys	0,12			0,44			0,053			<b>&lt;0,001</b>		
	Koejäsen*Syvyys	<b>0,028</b>			0,26			0,39			<b>&lt;0,001</b>		
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös	0,24			0,088			0,66			0,21		
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste	0,41			0,77			0,66			0,84		
	Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste	0,71			0,12			0,35			0,30		

\* Koejäsen 3 ei toteutunut. \*\* Käytetty muunnosta  $MH_3O^+=1\ 000\ 000*10^{(-pH)}$ . \*\*\* Käytetty logaritmuunnosta.

**Taulukko 36.** Ohrakokeelta syksyllä 2009 otettujen maanäytteiden KCl-uuhtoisen ammoniumtyypin (NH<sub>4</sub>-N), nitraattityypin (NO<sub>3</sub>-N) ja kokonaistyyppien pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Kuiva-aineena on käytetty vuosien 2010 ja 2011 keskiarvoja. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Ohra 2009**

Koe- jäsen	Lannoitus	ka %			NH <sub>4</sub> -N mg/kg maata			NO <sub>3</sub> -N * mg/kg maata			Tot-N mg/kg maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	74	75	77	1,43	1,85	1,87	4,51	5,95	6,40	9,70	10,21	9,70
2	Käsittelyjäännös	74	75	77	1,52	1,94	1,50	5,99	9,13	5,98	10,80	13,65	10,09
3													
4	Separoitu kuiva + neste oraille	74	75	77	2,28	1,85	1,68	4,86	4,69	4,48	10,99	10,23	9,50
5	Väkilannoite 0 N	74	75	77	1,39	1,92	2,12	3,82	5,17	5,12	10,00	10,81	10,11
6	Väkilannoite 20 N	74	75	77	1,50	1,68	1,95	2,67	4,24	6,22	7,42	9,22	10,11
7	Väkilannoite 40 N	74	75	77	1,89	2,29	1,63	4,12	5,30	5,83	11,13	10,17	9,55
8	Väkilannoite 60 N	74	75	77	1,08	1,78	1,84	6,84	7,88	5,69	10,50	11,96	10,08
9	Väkilannoite 80 N	74	75	77	1,84	1,60	1,63	7,48	9,88	9,97	12,85	13,47	12,29
10	Väkilannoite 100 N	74	75	77	0,99	1,68	1,99	11,65	14,12	12,13	13,65	16,12	13,29
	<b>Keskiarvo</b>	<b>74</b>	<b>75</b>	<b>77</b>	<b>1,55</b>	<b>1,84</b>	<b>1,80</b>	<b>5,77</b>	<b>7,37</b>	<b>6,87</b>	<b>10,78</b>	<b>11,76</b>	<b>10,52</b>
	Keskiarvon keskivirhe						0,327					1,310	
P-arvot	Koejäsen						0,65		<b>0,001</b>			<b>0,039</b>	
	Syvyys						0,44		0,22			<b>0,030</b>	
	Koejäsen*Syvyys						0,18		0,16			<b>&lt;0,001</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös						0,78		0,38			0,28	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste						0,23		0,12			0,40	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste						0,35		0,48			0,80	

\* Käytetty logaritmimuunnosta.

**Taulukko 37.** Ohrakokeelta syksyllä 2010 otettujen maanäytteiden orgaanisen hiilen (C), kokonaistypen (N), kaliumin ( $K_{HAAC}$ ) ja fosforin ( $P_{HAAC}$ ) -pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

## Ohra 2010

Koe- jäsen	Lannoitus	C			N			$K_{HAAC}$ *			$P_{HAAC}$		
		%			%			mg/l maata			mg/l maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	3,00	3,07	2,66	0,18	0,18	0,14	137	103	100	7,86	6,94	4,63
2	Käsittelyjäännös	3,54	3,25	2,61	0,21	0,19	0,14	159	114	110	9,24	7,63	5,29
3	Separoitu kuiva + 40 SS	3,50	3,47	2,61	0,20	0,20	0,13	142	103	101	9,58	7,57	5,09
4	Separoitu kuiva + neste oraille	3,67	3,55	2,70	0,21	0,21	0,14	183	109	102	13,17	7,89	4,98
5	Väkilannoite 0 N	3,43	3,53	3,04	0,20	0,20	0,17	152	119	111	7,69	8,12	5,54
6	Väkilannoite 20 N	3,08	3,21	2,60	0,17	0,19	0,14	129	102	103	9,29	7,15	5,31
7	Väkilannoite 40 N	3,17	3,15	2,66	0,18	0,18	0,14	142	110	112	8,08	7,87	5,39
8	Väkilannoite 60 N	3,60	3,37	2,59	0,21	0,19	0,14	139	112	103	7,34	7,41	5,12
9	Väkilannoite 80 N	3,10	3,44	2,87	0,18	0,20	0,15	135	107	101	8,22	7,32	4,72
10	Väkilannoite 100 N	3,02	3,22	2,76	0,18	0,19	0,15	141	106	106	7,44	7,90	4,77
	<b>Keskiarvo</b>	<b>3,31</b>	<b>3,33</b>	<b>2,71</b>	<b>0,19</b>	<b>0,19</b>	<b>0,14</b>	<b>146</b>	<b>109</b>	<b>105</b>	<b>8,79</b>	<b>7,58</b>	<b>5,08</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,302			0,019						0,880	
P-arvot	Koejäsen		0,20			0,37				0,39		<b>0,002</b>	
	Syvyys		<b>0,002</b>			<b>0,001</b>				<b>&lt;0,001</b>		<b>&lt;0,001</b>	
	Koejäsen*Syvyys		<b>0,030</b>			0,15				0,098		<b>&lt;0,001</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,20			0,20				0,11		0,065	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva		0,11			0,29				0,85		0,057	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste		<b>0,025</b>			0,069				0,10		<b>&lt;0,001</b>	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva		0,73			0,82				0,15		0,95	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste		0,32			0,59				0,96		<b>0,010</b>	
	Separoitu kuiva vs. separoitu kuiva + neste		0,51			0,45				0,14		<b>0,011</b>	

\* Käytetty  $\ln(x)$ -muunnosta.

**Taulukko 38.** Ohrakokeelta syksyllä 2010 otettujen maanäytteiden pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> sekä kalsiumin (Ca<sub>HAAc</sub>) ja magnesiumin (Mg<sub>HAAc</sub>) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Ohra 2010**

Koe- jäsen	Lannoitus	pH *			Ca <sub>HAAc</sub> mg/l maata			Mg <sub>HAAc</sub> mg/l maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	6,51	6,46	6,28	2378	2338	2121	236	234	246
2	Käsittelyjäännös	6,40	6,36	6,24	2367	2387	2058	236	241	254
3	Separoitu kuiva + 40 SS	6,48	6,46	6,35	2393	2442	2154	239	235	235
4	Separoitu kuiva + neste oraille	6,55	6,42	6,30	2477	2476	2137	256	248	256
5	Väkilannoite 0 N	6,34	6,30	6,11	2438	2385	2049	230	228	231
6	Väkilannoite 20 N	6,35	6,34	6,19	2391	2305	2042	238	243	255
7	Väkilannoite 40 N	6,43	6,44	6,28	2383	2475	2151	232	237	256
8	Väkilannoite 60 N	6,37	6,27	6,21	2490	2359	2067	236	239	249
9	Väkilannoite 80 N	6,33	6,33	6,28	2399	2498	2139	233	234	252
10	Väkilannoite 100 N	6,37	6,27	6,27	2425	2518	2204	232	235	251
	Keskiarvo	<b>6,41</b>	<b>6,36</b>	<b>6,25</b>	<b>2414</b>	<b>2418</b>	<b>2112</b>	<b>237</b>	<b>238</b>	<b>249</b>
	Keskiarvon keskivirhe		.			90,0			9,0	
P-arvot	Koejäsen		0,18			0,92			0,40	
	Syvyys		<b>0,003</b>			<b>&lt;0,001</b>			<b>0,017</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,53			0,69			0,16	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,33			0,93			0,55	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva		0,82			0,59			0,77	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste		0,96			0,37			0,089	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva		0,23			0,54			0,37	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste		0,31			0,33			0,27	
	Separoitu kuiva vs. separoitu kuiva + neste		0,86			0,72			<b>0,047</b>	

\* Käytetty muunnosta  $MH_3O^+ = 1\ 000\ 000 \cdot 10^{(-pH)}$

**Taulukko 39.** Ohrakokeelta syksyllä 2010 otettujen maanäytteiden kuiva-aineprosentti sekä KCl-uttaisen ammoniumtyypen (NH<sub>4</sub>-N), nitraattityypen (NO<sub>3</sub>-N) ja kokonaistypen pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Ohra 2010**

Koe- jäsen	Lannoitus	ka			NH <sub>4</sub> -N			NO <sub>3</sub> -N			Tot-N		
		%			mg/kg maata			mg/kg maata			mg/kg maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	77	76	79	1,29	1,10	0,94	12,79	11,17	7,18	21,31	16,17	9,12
2	Käsittelyjäännös	75	76	78	1,45	1,03	1,05	27,16	20,19	9,51	33,28	23,33	14,12
3	Separoitu kuiva + 40 SS	76	75	79	1,28	1,30	1,20	22,56	17,52	8,27	21,86	22,26	10,93
4	Separoitu kuiva + neste oraille	75	75	79	1,77	1,41	1,06	19,25	18,64	8,25	27,76	24,51	10,42
5	Väkilannoite 0 N	76	75	77	1,23	1,43	1,11	13,02	11,14	7,43	19,46	16,94	10,36
6	Väkilannoite 20 N	77	76	79	1,03	1,18	1,16	9,23	11,10	6,97	14,01	16,04	9,15
7	Väkilannoite 40 N	76	76	78	1,08	0,96	1,19	14,89	14,87	8,75	21,22	19,44	11,82
8	Väkilannoite 60 N	75	76	79	1,15	0,97	0,92	26,02	22,30	8,97	23,43	27,43	10,01
9	Väkilannoite 80 N	77	76	78	1,10	1,15	1,01	28,82	23,16	10,58	40,56	27,69	13,53
10	Väkilannoite 100 N	77	76	78	1,26	1,13	1,07	29,71	44,88	15,20	33,80	49,51	18,05
	Keskiarvo	<b>76</b>	<b>76</b>	<b>78</b>	<b>1,26</b>	<b>1,16</b>	<b>1,07</b>	<b>20,34</b>	<b>19,50</b>	<b>9,11</b>	<b>25,67</b>	<b>24,33</b>	<b>11,75</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,9			0,209			4,942			4,526	
P-arvot	Koejäsen		0,13			0,19			<b>&lt;0,001</b>			<b>&lt;0,001</b>	
	Syvyys		<b>0,001</b>			<b>0,044</b>			<b>0,027</b>			<b>0,002</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,14			0,081			<b>0,026</b>			<b>0,005</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,14			0,65			<b>0,042</b>			<b>0,027</b>	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva		0,22			0,30			0,17			0,44	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste		<b>0,072</b>			<b>0,034</b>			0,23			0,14	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva		0,80			0,54			0,50			0,16	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste		0,73			0,086			0,39			0,45	
	Separoitu kuiva vs. separoitu kuiva + neste		0,55			0,26			0,86			0,49	



**Taulukko 40.** Ohrakokeelta syksyllä 2011 otettujen maanäytteiden orgaanisen hiilen (C), kokonaistypen (N), kaliumin ( $K_{HAAC}$ ) ja fosforin ( $P_{HAAC}$ ) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

## Ohra 2011

Koe- jäsen	Lannoitus	C			N			$K_{HAAC}$ *			$P_{HAAC}$		
		%			%			mg/l maata			mg/l maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	2,65	2,78	1,96	0,15	0,17	0,10	143	111	98	6,53	6,58	4,13
2	Käsittelyjäännös	2,95	3,11	2,38	0,18	0,19	0,13	175	115	109	7,99	6,98	4,96
3	Separoitu kuiva + 40 SS	3,03	3,14	2,14	0,18	0,19	0,12	133	102	92	7,98	7,13	5,34
4	Separoitu kuiva + neste oraille	3,16	3,24	2,34	0,19	0,19	0,12	158	110	104	8,66	7,37	5,74
5	Väkilannoite 0 N	3,18	3,19	2,81	0,19	0,19	0,16	137	115	110	6,33	6,43	5,61
6	Väkilannoite 20 N	2,76	2,84	2,50	0,16	0,16	0,14	133	104	101	7,10	6,91	6,04
7	Väkilannoite 40 N	2,68	2,87	2,34	0,15	0,17	0,12	143	112	105	6,73	7,60	5,69
8	Väkilannoite 60 N	2,98	3,19	2,45	0,17	0,18	0,13	151	114	104	7,08	6,93	5,65
9	Väkilannoite 80 N	2,96	2,99	2,19	0,17	0,17	0,11	145	108	95	7,05	6,65	4,79
10	Väkilannoite 100 N	2,91	2,93	2,18	0,17	0,17	0,12	163	107	100	6,64	6,42	4,15
	Keskiarvo	<b>2,92</b>	<b>3,03</b>	<b>2,33</b>	<b>0,17</b>	<b>0,18</b>	<b>0,12</b>	<b>148</b>	<b>110</b>	<b>102</b>	<b>7,21</b>	<b>6,90</b>	<b>5,21</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,349			0,022						0,737	
P-arvot	Koejäsen		0,69			0,53			0,47			<b>0,005</b>	
	Syvyys		<b>0,032</b>			<b>0,030</b>			<b>&lt;0,001</b>			<b>0,017</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,72			0,60			0,060			0,10	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,21			0,13			0,13			<b>0,019</b>	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva		0,27			0,25			0,33			<b>0,006</b>	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste		0,11			0,12			0,48			<b>&lt;0,001</b>	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva		0,88			0,70			<b>0,018</b>			0,63	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste		0,72			0,96			0,41			0,098	
	Separoitu kuiva vs. separoitu kuiva + neste		0,61			0,66			0,10			0,23	

\* Käytetty  $\ln(x)$ -muunnosta.

**Taulukko 41.** Ohrakokeelta syksyllä 2011 otettujen maanäytteiden pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> sekä kalsiumin (Ca<sub>HAAc</sub>) ja magnesiumin (Mg<sub>HAAc</sub>) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Ohra 2011**

Koe- jäsen	Lannoitus	pH *			Ca <sub>HAAc</sub> mg/l maata			Mg <sub>HAAc</sub> ** mg/l maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	6,47	6,49	6,29	2177	2350	1960	247	256	280
2	Käsittelyjäännös	6,48	6,45	6,35	2225	2384	2135	263	264	288
3	Separoitu kuiva + 40 SS	6,42	6,49	6,41	2212	2412	2078	268	257	260
4	Separoitu kuiva + neste oraille	6,48	6,47	6,44	2258	2450	2178	271	268	271
5	Väkilannoite 0 N	6,35	6,39	6,31	2246	2355	2200	239	250	259
6	Väkilannoite 20 N	6,38	6,42	6,36	2190	2433	2152	245	268	269
7	Väkilannoite 40 N	6,43	6,48	6,42	2229	2481	2220	246	257	276
8	Väkilannoite 60 N	6,37	6,40	6,29	2235	2429	2099	238	257	261
9	Väkilannoite 80 N	6,40	6,47	6,33	2324	2441	2099	242	256	279
10	Väkilannoite 100 N	6,32	6,37	6,25	2247	2404	2034	232	256	276
	Keskiarvo	<b>6,41</b>	<b>6,44</b>	<b>6,34</b>	<b>2234</b>	<b>2414</b>	<b>2116</b>	<b>249</b>	<b>259</b>	<b>272</b>
	Keskiarvon keskivirhe		.			96,8			.	
P-arvot	Koejäsen		0,36			0,92			0,72	
	Syvyys		0,20			<b>0,021</b>			<b>0,009</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,40			0,69			<b>0,002</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,82			0,36			0,39	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva		0,65			0,45			0,93	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste		0,43			0,16			0,45	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva		0,83			0,88			0,43	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste		0,57			0,61			0,92	
	Separoitu kuiva vs. separoitu kuiva + neste		0,73			0,51			0,50	

\* Käytetty muunnosta  $MH_3O^+ = 1\ 000\ 000 \cdot 10^{(-pH)}$  \*\* Käytetty  $\ln(x)$ -muunnosta.

**Taulukko 42.** Ohrakokeelta syksyllä 2011 otettujen maanäytteiden kuiva-aineprosentti sekä KCl-uttoisen ammoniumtyypen (NH<sub>4</sub>-N), nitraattityypen (NO<sub>3</sub>-N) ja kokonaistypen pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

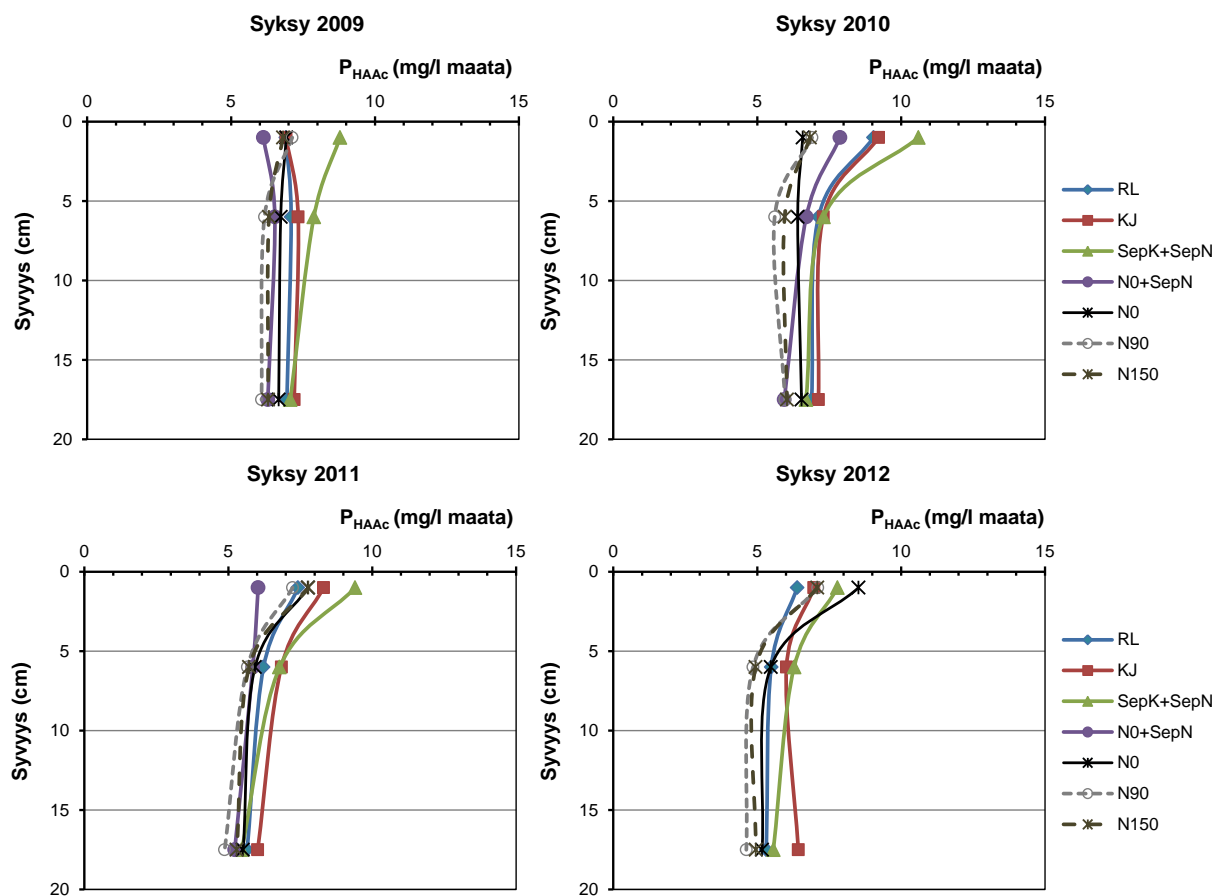
**Ohra 2011**

Koe- jäsen	Lannoitus	ka			NH <sub>4</sub> -N			NO <sub>3</sub> -N			Tot-N		
		%			mg/kg maata			mg/kg maata			mg/kg maata		
		0-2	2-10	10-25	0-2	2-10	10-25	0-2	2-10	10-25	0-2	2-10	10-25
		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	Raakalanta	73	74	77	0,92	1,21	0,41	1,33	5,61	7,50	11,24	15,33	12,40
2	Käsittelyjäännös	72	74	75	0,99	0,91	0,87	1,49	5,92	7,87	12,03	15,61	15,13
3	Separoitu kuiva + 40 SS	72	73	76	1,21	1,06	0,59	1,37	5,43	7,42	11,90	16,33	13,22
4	Separoitu kuiva + neste oraille	72	72	75	1,17	1,15	0,58	1,38	6,17	8,72	12,33	16,14	15,44
5	Väkilannoite 0 N	72	73	74	0,42	0,87	0,71	0,66	3,58	6,41	10,59	13,73	15,01
6	Väkilannoite 20 N	73	74	75	0,67	0,82	0,77	0,52	3,82	6,63	9,60	13,39	14,43
7	Väkilannoite 40 N	73	73	76	1,03	1,14	0,49	0,70	4,17	6,22	10,29	14,31	12,88
8	Väkilannoite 60 N	73	73	75	0,51	0,90	0,45	0,69	4,89	7,01	9,92	15,20	13,99
9	Väkilannoite 80 N	73	73	76	0,68	0,70	0,42	0,94	5,08	7,65	10,44	14,22	13,38
10	Väkilannoite 100 N	73	74	76	0,72	0,77	0,50	1,45	6,81	9,42	11,45	15,94	15,16
	Keskiarvo	<b>73</b>	<b>73</b>	<b>76</b>	<b>0,83</b>	<b>0,95</b>	<b>0,58</b>	<b>1,05</b>	<b>5,15</b>	<b>7,48</b>	<b>10,98</b>	<b>15,02</b>	<b>14,10</b>
	Keskiarvon keskivirhe		1,2			0,221			0,712			1,530	
P-arvot	Koejäsen		0,57			0,086			<b>0,020</b>			0,66	
	Syvyys		<b>0,004</b>			0,053			<b>&lt;0,001</b>			<b>0,029</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,48			0,31			0,59			0,87	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,29			0,59			0,68			0,33	
	Raakalanta vs. separ/oitu kuiva		0,20			0,47			0,92			0,53	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva + neste		0,062			0,41			0,37			0,21	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva		0,82			0,85			0,61			0,74	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva + neste		0,40			0,77			0,63			0,77	
	Separoitu kuiva vs. separoitu kuiva + neste		0,53			0,92			0,32			0,53	

### 3.9. Nurmikokeen maa-analyysit

#### 3.9.1. Muokkauskerroksen viljavuusfosforin, -kaliumin ja -rikin pitoisuudet

Nurmikokeelta otettiin maanäytteet syksyllä vastaavalla tavalla kuin ohrakokeelta kolmesta eri syvyydestä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tulokset on esitetty taulukoissa 43–54. Kerranteella 1 esiintyi poikkeuksellisen korkeita kalsiumin pitoisuuksia, minkä takia kolme ruutua on poistettu tilastollisista analyyseistä. Happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvan maan helppoliukoisin fosforin eli viljavuusfosforin pitoisuudet pienenevät pääsääntöisesti syvyyden myötä (Kuva 23, Taulukot 43, 46, 49 ja 52). Koevuosien 2009–2012 aikana aivan maan pintakerroksessa (0–2 cm) viljavuusfosforin pitoisuudet vaihtelivat välillä 5,9–10,6 mg  $P_{HAAC}$ /l maata. Maan pintakerroksessa eniten fosforia oli odotetusti suurimman fosforimäärän saaneella koejäsenellä, joka sai perustamisvaiheessa kuivajakeen ja nurmivuosina (kasvustoon) pintalevityksenä nestejakeen. (Vuonna 2011 orgaanisten lannoitteiden välisessä kontrastitarkastelussa käsittelyjäännöksen ( $p = 0,030$ ) ja separoidun nestejakeen (kuivajae perustettaessa) ( $p = 0,016$ ) levittäminen nostivat viljavuusfosforipitoisuutta verrattuna koejäsenen, joka sai nestejakeen vuonna 2010, mutta oli vuosina 2009 ja 2011 typpilannoittamaton.) Vaikka orgaanisten lannoitteiden käyttö näytti hieman lisäävän maan pintakerroksen fosforipitoisuutta, olivat erot epäorgaanisia ja orgaanisia lannoitteita saaneiden koejäsenten välillä kuitenkin varsin vähäisiä koevuosien yli tarkasteltuina. Fosforipitoisuuksien suhteen koejäsenten väliset erot olivat pieniä syvemmissä 2–10 ja 10–25 cm:n maakerroksissa.



**Kuva 23.** Helppoliukoisin fosforin eli viljavuusfosforin ( $P_{HAAC}$ , mg/l maata) pitoisuudet 0–2, 2–10 ja 10–25 cm:n maakerroksissa syksyllä 2009–2012 otetuissa näytteissä. Koejäsenet: RL (1) = Raakalanta, KJ (2) = Käsittelyjäännös, SepN+SepK (3) = Käsittelyjäännöksestä separoitu nestejake + separoitu kuivajae perustettaessa, NO+SepN (4) = Käsittelyjäännöksestä separoitu nestejake (0 kg N/ha sekä perustettaessa että vuonna 2011), NO (5) = Väkilannoite 0 kg N/ha, N90 (8) = Väkilannoite 90 kg N/ha ja N150 (10) = Väkilannoite 150 kg N/ha. (Ks. Taulukko 1.)

Spesifisesti alumiini- ja rautaoksidien pinnoille sitoutuvalla fosforilla on taipumus pidäytyä tehokkaasti suomalaisissa happamissa kivennäismaissa. Kemialliset sitoutumisreaktiot vähentävätkin fosforin saatavuutta kasveille sekä sen kulkeutumista maaprofiilissa alaspäin liikkuvan vajoveden mukana, mutta samalla edistävät fosforin kertymistä maan pintakerrokseen. Tämä taas lisää fosforin huuhtoutumisriskiä liukoisena tai kiintoainekseen sitoutuneena pintavalunta- ja tulvaveden mukana. Fosforin pidäytyminen tehostuu ja/tai pidättyneen fosforin mobilisoituminen hidastuu maa-aineksen happamuuden ja maaveden suolapitoisuuden kasvaessa. Fosforia pidättävien oksidipintojen täyttyminen heikentää sitoutumislujutta (ns. fosforinkyllästysaste) ja edistää fosforin vapautumista liuosfaasiin (Hartikainen 2004, 2009b). Lantafosforin suorien huuhtoumien ja orgaanisten happojen sitoutumispaikoista aiheuttaman kilpailun lisäksi usein toistuva lannan levitys voi lisätä fosforin huuhtoutumisriskiä nostamalla maan helppoliukoisen fosforin pitoisuutta. Fosforikuormitukseen vaikuttavat kuitenkin useat eri tekijät, kuten esim. maan tekstuuri, struktuuri, fosforin esiintymismuoto ja sen pitoisuus, lannoitushistoria, lannan levitystapa, -määrä ja -ajankohta sekä valuntaa aiheuttavien sateiden ajoittuminen ja intensiteetti.

Korkean fosforitason omaavan pintamaan tiedetään nostavan valumaveden fosforipitoisuutta (Sharpley 1995, Turtola ja Yli-Halla 1999). Pitkään jatkuneessa suorakylvössä, nurmenviljelyssä tai laidunnurmella lannoitteista, kasvinjäänteistä sekä sonnasta peräisin olevaa helppoliukoista fosforia voi kertyä maan pintakerrokseen (Saarijärvi ym. 2006a, Muukkonen ym. 2007, Saarela & Vuorinen 2010) ja lisätä niiden kuormituspotentiaalia. Tässä tutkimuksessa nurmiruuduilla näkyi koevuosien aikana lievää fosforin kertymistä pintamaahan, kun taas ohrakoikkeella maan muokkaaminen vähensi oletetusti sen kertymistä. Vaikka orgaanisten lannoitteiden sijoitusvyvyys oli molemmissa kokeissa sama, on mahdollista, että vantaat ovat tunkeutuneet helpommin muokattuun maahan, minkä seurauksena sijoitusvyvyys on ollutkin ohra- ja nurmiruuduilla hieman erilainen. Naudan lietalannan ja lietalantapohjaisen käsittelyjäännöksen sijoittaminen on todennäköisesti hillinnyt fosforin kertymistä pintamaakerrokseen.

Suomessa savimaalla tehdyssä kokeessa Uusi-Kämpä & Heinonen-Tanski (2008) selvittivät naudan lietalannan pintalevityksestä ja sijoittamisesta aiheutuvaa fosforin huuhtoutumista pintavalunnassa. Lietteen pintalevitykseen verrattuna sijoittaminen esti tehokkaasti viljavuusfosforin kertymisen pintamaakerrokseen. Sijoittamisen vaikutus oli myös selvästi havaittavissa sijoitusvyvydyssä ja sen alapuolisissa maakerroksissa kohonneina fosforipitoisuuksina (2–5, 5–10 ja 10–20 cm). Tässä tutkimuksessa sijoitusvyvydyssä ei kuitenkaan ollut havaittavissa sijoittamisen aiheuttamia korkeampia fosforipitoisuuksia, mikä voi selittyä huomattavasti pienemmällä lietalannan (ja fosforin) levitysmäärillä sekä mahdollisilla eroilla näytteenotossa. Kun Uusi-Kämpän & Heinonen-Tanskin (2008) tutkimuksessa liete sijoitettiin maahan, pintavalunnan kokonaisfosforikuorma oli lähes 80 % pienempi kuin lietteen pintalevityksessä ja vastasi huuhtoumaltaan koejäsenä, joka oli saanut puolet vähemmän väkilannoitefosforia pintalevityksenä (48 kg lietalanta-P/ha vs. 23 kg väkilannoite-P/ha).

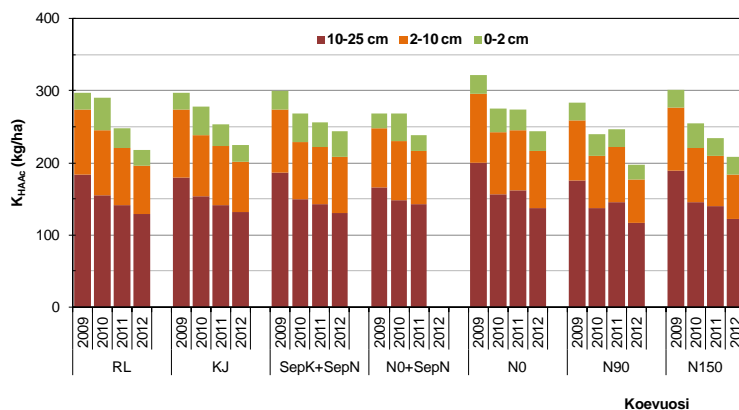
Tässä tutkimuksessa orgaanisia lannoitteita saaneilla koejäsenillä muokkauskerroksen keskimääräinen viljavuusfosforipitoisuus oli hieman korkeampi kuin väkilannoitteita saaneilla koejäsenillä (6,1–6,8 mg/l maata vs. 5,3–6,1 mg/l maata), kun fosforipitoisuuksia tarkastellaan koejäsenkohtaisesti yli vuosien. Koevuosina 2009–2012 otettujen maanäytteiden perusteella muokkauskerroksen viljavuusfosforin pitoisuudet alenivat kokeen aikana koejäsenillä keskimäärin 1,2 mg/l maata (laskettu maakerrosten painotettujen P-pitoisuuksien keskiarvojen avulla), minkä seurauksena ruutukohtainen fosforiluku aleni joillakin koejäsenillä viljavuusluokasta tyydyttävä luokkaan välttävä.

Suomessa hietamaalla suoritetussa kenttäkokeessa tutkittiin fosforilannoituksen satovastetta (Maaninka, Ruukki), kun fosfori annettiin kahdessa peräkkäisessä nurmikierrossa varastolannoituksena (väkilannoitus) tai vuosilannoituksena (väkilannoitus tai naudan lietalanta). Kokeessa fosforilannoituksella ei saatu sadonlisää. Pintamaakerroksessa (0–2 cm) fosforipitoisuudet vaihtelivat suuresti, mutta alijäämäiset fosforitaseet laskivat muokkauskerroksen fosforipitoisuutta ( $P_{HAAc}$ ,  $P_{H_2O}$ ) (Mustonen 2013, Messiga ym. 2015). Lukuun ottamatta kuiva- ja nestejakeen levitystä yhdistelmänä tässä tutkimuksessa orgaanisten lannoitteiden käyttö ei koevuosien aikana vaikuttanut merkittävästi pintamaan tai muok-

kauskerroksen fosforipitoisuuksiin eikä fosforin kulkeutumista syvempiin maakerroksiin ollut havaittavissa. Nurmiviljelyssä naudaneliöiden ja lietalantapohjaisen käsittelyjäännöksen käyttö ei välttämättä nosta maan pintakerroksen ja muokkauskerroksen viljavuusfosforin pitoisuutta, jos liete sijoitetaan ja sitä käytetään ympäristökorvausjärjestelmään sisältyvien ravinteiden käyttörajojen ja nitraattiasetuksen mukaisesti, ja samalla huolehditaan nurmen riittävästä typpilannoituksesta.

Koevuosien 2009–2012 aikana ammoniumasetaattiuuttoisen vaihtuvan kaliumin eli viljavuuskaliumin pitoisuudet vaihtelivat 0–2, 2–10 ja 10–25 cm:n maakerroksissa välillä 70–220 mg/l maata, ja ensimmäistä koevuotta 2009 lukuun ottamatta korkeimmat pitoisuudet esiintyivät aivan maan pintakerroksessa (Taulukot 43, 46, 49 ja 52). Nurmivuosina nurmi sai suurimman kaliummäärän separoidun nestejakeen pintalevityksen yhteydessä, mikä myös kasvatti pintamaakerroksen kaliumpitoisuutta. Orgaanisten lannoitteiden välisissä kontrastitarkasteluissa kuivajakeen perustettaessa ja nestejakeen nurmivuosina saaneella koejäsenellä maan kaliumpitoisuus oli vuonna 2011 korkeampi ( $p = 0,048$ ) kuin koejäsenellä, joka sai perustamisvuonna 2009 tyyppiä 0 kg/ha, nurmivuonna 2010 toiselle sadolle nestejakeen ja taas nurmivuonna 2011 toiselle sadolle tyyppiä 0 kg/ha. Vuonna 2012 pinta-maan kaliumpitoisuus nousi nestejakeen levityksen seurauksena enemmän kuin raakalantaa ( $p = 0,012$ ) ja käsittelyjäännöstä ( $p = 0,040$ ) käytettäessä.

Muokkauskerroksessa hehtaaria kohti lasketun viljavuuskaliumin määrä aleni satovuosien mukaan ja kolmannen satovuoden jälkeen se oli laskenut keskimäärin 77 kg/ha (Kuva 24). Muokkauskerroksen koejäsenkohtainen viljavuuskaliumluku laskee koevuosien 2009–2012 aikana keskimäärin 30 mg/l maata, mutta alkumaanäytteisiin verrattuna lasku oli tätäkin suurempi. Kaikilla koejäsenillä kaliumin viljavuusluokka laskee ensimmäisen koevuoden luokasta välttävä luokkaan huononlainen (vuonna 2012 kaliumluku oli keskimäärin 87 mg/l maata). Koevuosien aikana kaliumpitoisuuden muutokset olivat huomattavasti suurempia nurmikokeessa kuin ohrakokeessa, mikä johtuu ennen kaikkea nurmen tehokkaasta kaliumin otosta, mutta osin myös kokeiden erilaisesta kestoajasta. Koevuosien kumulatiivinen kaliumtase oli keskimäärin -440 kg/ha. Vaikka maan kaliumtase oli luokassa välttävä, pystyi nurmikasvusto ottamaan maasta huomattavan määrän kaliumia. Todennäköisesti tämä johtuu maasta happoliuoksilla uutettavista vaikeasti vaihtuvista kaliumvaroista eli reservikaliumista, jonka on osoitettu korreloivan nurmiviljelyssä paremmin nurmen kaliumoton kanssa kuin viljavuusanalyysin yhteydessä analysoidavan tavallisen viljavuuskaliumin (Virkajärvi ym. 2014). Vaikka tässä tutkimuksessa ei määritetty maan reservikaliumpitoisuutta, on kuitenkin syytä olettaa, että maan reservikaliumvarat ovat suurehkot, kuten Luke Maaningan koelohkoilla niiden on yleensä havaittu olevan.



**Kuva 24.** Muokkauskerroksen (0–25 cm) hehtaaria kohti lasketun vaihtuvan kaliumin eli viljavuuskaliumin määrä ( $K_{HAAC}$ , kg/ha) syksyllä 2009–2012 otetuissa maanäytteissä. Koejäsenet: RL (1) = Raakalanta, KJ (2) = Käsittelyjäännös, SepN+SepK (3) = Käsittelyjäännöksestä separoitu nestejake + separoitu kuivajake perustettaessa, NO+SepN (4) = Käsittelyjäännöksestä separoitu nestejake (0 kg N/ha sekä perustettaessa että vuonna 2011), NO (5) = Väkilannoite 0 kg N/ha, N90 (8) = Väkilannoite 90 kg N/ha ja N150 (10) = Väkilannoite 150 kg N/ha. (Ks. Taulukko 1.) Huom. y-akseli on esitetty eri mittakaavassa kuin kuvassa 20.

Ohra- ja nurmiruuduilta otetuista maanäytteistä määritettiin vuonna 2009 viljavuusanalyysin yhteydessä myös ammoniumasetaattiuuttainen rikki, jonka pitoisuus vaihteli muokkauskerrokselle painotettuna ohrakokeessa 12–27 mg/l maata ja nurmikokeessa 15–23 mg/l maata vastaten viljavuusluokkia tyydyttävä–hyvä. Maan rikkipitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja orgaanisia lannoitteita saaneiden koejäsenten välillä. Väkilannoitus nosti viljavuusrikin pitoisuuksia 2–10 cm:n maakerroksessa orgaanisiin lannoitteisiin verrattuna (Taulukot 35 ja 44). Ohrakokeessa väkilannoitekoejäsen 0 kg N/ha sai superfosfaatin mukana enemmän rikkiä kuin koejäsenet, joille levitettiin raakalantaa ja käsittelyjäännöstä (väkilannoitekoejäsenille annettu rikkimäärä kasvoi typpilannoituksen kasvaessa), kun taas nurmikokeessa näiden koejäsenten saamissa rikkimäärissä ei ollut niin suuria eroja. Koejäsenten viljavuusrikkipitoisuuksien välisiä eroja selittää rikkimäärän lisäksi myös se, että lannan kokonaisrikistä yleensä alle 50 % on kasveille käyttökelpoisena sulfaattina ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) valtaosan ollessa orgaaniseen ainekseen sitoutunutta (Eriksen ym. 1995), joka on todennäköisesti vain osin mineralisoitunut näytteenottoajankohtaan mennessä.

Viljelysmaiden muokkauskerroksessa rikkiä on tyypillisesti 100–500 mg/kg ja valtaosa siitä on orgaanisessa muodossa. Orgaanisissa yhdisteissä rikki on sitoutunut hiiliketjuun joko suoraan (aminohapot; kysteiini ja metioniini sekä vitamiinit; biotiini ja tiamiini) tai hapen välityksellä (rikkiä sisältävät fenoliset yhdisteet ja polysakkaridit) (Stevenson & Cole 1999). Nautakarjan lannassa kokonaisrikin pitoisuuden on taas havaittu vaihtelevan välillä 0,14–0,70 kg/t kuiva-ainepitoisuudesta riippuen (Eriksen ym. 1995). Lannan rikkipitoisuuteen ja sen koostumukseen vaikuttaa voimakkaasti dieetti ja lannan varastointi, mutta yleisesti lannan sisältämän rikin biologisen käyttökelpoisuuden katsotaan olevan heikko fosforiin ja kaliumiin verrattuna. Kun märehitjoiden rikin tarve ja dieetin rikkisisältö ovat tasapainossa, lannan rikkipitoisuuden voidaan olettaa olevan verraten alhainen ja lannan levitysvuotena rikistä vain pienen osan olevan kasvien hyödynnettävissä. Vaikka lannan orgaanisella rikillä voidaan olettaa olevan jälkivaikutusta ja lannan pitkäaikaisen käytön kasvattavan peltomaan orgaanisia rikkivaroja, mineralisaatio ei todennäköisesti riitä täyttämään viljelykasvien rikin tarvetta (Eriksen 2002). Rikin biologista käyttökelpoisuutta voi edelleen vähentää lannan pitkäaikainen varastointi anaerobisissa olosuhteissa, mikä edistää sulfaatin mikrobiologista muuntumista orgaaniseen muotoon sekä potentiaalisesti haihtuviksi rikkinyhdisteiksi (Eriksen ym. 1995). Orgaanisen rikin mineralisoituessa sulfaattia voi jossakin määrin pidettyä maa-ainekseen, mutta etenkin karkeissa maa-aineksissa se on melko helposti huuhtoutuvaa.

Yhteiskäsittelyssä runsaasti rikkiä sisältävä lisäsyöttömateriaali voi nostaa käsittelyjäännöksen rikkipitoisuuden raakalantaa korkeammaksi, mutta yleensä sen voidaan olettaa jäävän sitä pienemmäksi, koska biokaasuprosessissa rikkiä poistuu biokaasun mukana rikkivetyä. Kaasumoottoria ja -turbiinia varten rikkivetyä on kuitenkin hyvä poistaa biokaasusta esim. johtamalla pieni määrä ilmaa biokaasureaktorin kaasutilaan, jolloin sulfaatinpelkistäjämikrobit hapettavat rikkivetyä alkuainerikiksi ja rikkihapoksi (Al Seadi ym. 2008). Tässä tapauksessa rikkiä saostuu lähinnä reaktorin kaasutilan seiniin ja kattoon, ja osa saostumasta myös poistuu käsittelyjäännöksen mukana. Raakalietelannan sisältämästä rikistä voi muuttua biokaasuprosessissa rikkivedyksi esimerkiksi 24 % (oletukset: liete-lannan S-pitoisuus 0,32 kg/t FM, kuiva-ainepitoisuus (TS) 6,3 %, VS/TS -suhde 0,85, metaanintuotto-potentiaali 200 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t VS, biokaasun metaanipitoisuus 60 % ja rikkivety pitoisuus 3000 ppm) (Pyykkönen, V., suullinen tiedonanto). Rikkivedyn poisto voi tapahtua myös erillisessä kaasunpuhdistukolonissa sitomalla esim. rautaoksideihin tai aktiivihieileen tai pesemällä se pesuliukokseen (Luostarinen ja Pyykkönen 2013).

### 3.9.2. Muokkauskerroksen liukoinen epäorgaaninen ja orgaaninen typpi

Nurmiruuduilla kokonaistypen määrä oli muokkauskerroksessa (0–25 cm) hehtaarille laskettuna 8,2–10,4 t/ha (0,33–0,41 painotettu N-%) (Taulukot 43, 46, 49 ja 52). Koevuosina KCl-uuttamisen liukoisien kokonaistypen määrät olivat nurmi- ja ohruuduilla keskimäärin yhtä suuria (n. 35 kg/ha) ja ne muodostivat vain hyvin pienen osan maan kokonaistyyppivaroista. Nurmiruuduilla liukoisien koko-

naistypen osuus muokkauskerroksen kokonaistypestä oli keskimäärin 0,4 %, mikä oli yli puolet vähemmän kuin vastaavasti ohraruuduilla vuosien 2010–2011 koepaikassa.

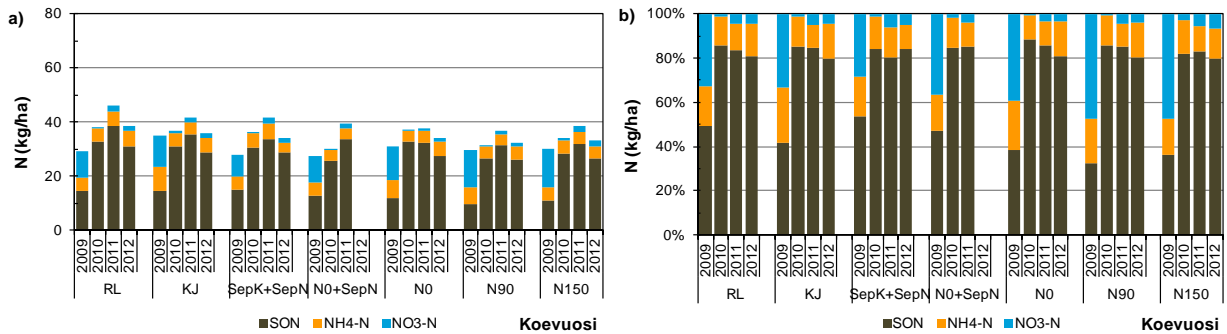
Nurmivuosina 2010–2012 nurmiruutujen liukoisesta kokonaistypestä valtaosa oli orgaanisessa muodossa (keskimäärin 83 %, 31 kg/ha) ja epäorgaanisen typen ( $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ ) osuus oli keskimäärin vain 17 %, mikä vastasi n. 6 kg/ha (Kuvat 25–26). Päinvastoin kuin ohraruuduilla, nurmiruuduilla epäorgaaninen tyyppi oli pääasiassa ammoniummuodossa perustamis- ja suojaviljavuotta lukuun ottamatta (nurmivuosina jopa 80 % epäorgaanisesta typestä). Orgaanisten lannoitteiden välinen kontrastitarkastelu osoitti raakalannan ja käsittelyjäännöksen osalta, että perustamisvuonna 2009 käsittelyjäännöksen levittäminen lisäsi raakalantaan verrattuna ammoniumtypen ( $p = 0,020$ ) pitoisuuksia näytteenottokerroksissa, mikä johtui käsittelyjäännöksen suuremmasta liukoisen typen lisäyksestä (suurempi levitysmäärä t/ha ja korkeampi liukoisen typen pitoisuus kg/tuore-t). Saman syksyn maanäytteissä raakalannasta poikkesi myös käsittelyjäännöksestä separoidun kuivajakeen käyttö, joka nosti ammoniumtypen ( $p = 0,032$ ) pitoisuutta aivan maan pintakerroksessa. Perustamisvuonna kuivajakeen saanut koejäsen sai nurmivuosina käsittelykseen käsittelyjäännöksestä separoidun nestejakeen, ja syksyllä 2012 sen ammoniumtyppipitoisuudet olivatkin raakalantaa alhaisemmat ( $p = 0,025$ ). Verrattuna koejäseneseen, joka sai nestejakeen vuonna 2010, mutta oli vuosina 2009 ja 2011 typpilannoittamaton, raakalanta ( $p = 0,001$ ) ja käsittelyjäännös ( $p = 0,009$ ) nostivat vuonna 2010 maan ammoniumtyppipitoisuuksia. Raakalannan osalta typpijakeiden muutokset kasvattivat myös maan liukoista kokonaistyyppipitoisuutta vuosina 2010 ( $p = 0,004$ ) ja 2011 ( $p = 0,005$ ).

Perustamisvuonna 2009 epäorgaanista tyyppiä oli muokkauskerroksessa keskimäärin n. 18 kg/ha, ja maanäytteistä syksyllä mitatut nitraattityypen pitoisuudet olivat nurmivuosia huomattavasti korkeampia (Taulukot 45, 48, 51 ja 54, Kuva 26). Epäorgaanista tyyppiä oli hieman yli puolet (58 %) liukoisesta kokonaistypestä ja se oli valtaosin (70 %) nitraattimuodossa. Nitraattityppiä oli runsaasti etenkin 10–25 cm:n syvyydessä ja sen pitoisuudet kasvoivat kaikilla koejäsenillä lähes suoraviivaisesti näytteenottosyvyyden suhteen. Typellä lannoittamattomaan ruutuun verrattuna väkilannoituksena annettu 45–75 kg/ha tyypillisä nosti epäorgaanisen typen pitoisuutta ( $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ ) syvimmässä näytteenottokerroksessa keskimäärin 3,2 mg/kg, mikä viittaa siihen, että käyttämättä jäänyttä lannoitetyppiä on jonkin verran huuhtoutunut muokkauskerroksen alaosaan ja säilynyt siinä huuhtoutumatta syvemmälle. Koska myös lannoittamattomien ruutujen maanäytteissä esiintyi nitraattityypen pitoisuuksia, jotka olivat verrattavissa raakalannassa tai väkilannoituksena n. 30 kg/ha liukoisen typpimäärän saaneiden ruutujen pitoisuuksiin, tyyppiä on myös vapautunut maan orgaanisesta aineksesta. Kun tarkastellaan syksyllä muokkauskerroksessa jäljellä olevan liukoisen epäorgaanisen typen kokonaismäärää (4–6 kg/ha) ja toiselle sadolle lannoittamattomalta koejäseneltä korjattua typpisatoa, josta on vähennetty ensimmäiselle sadolle annettu typpilannoitus (37–82 kg/ha), on tyyppiä mineralisoitunut nurmivuosina vähintään 41–88 kg/ha. Joki-Tokolan ym. (2002) mukaan lietelanta voi vielä lisätä orgaanisen typen vapautumista lisäämällä mikrobiaktiivisuutta ja tuottamalla pelto- maahan hajoamiselle altista orgaanisessa muodossa olevaa tyyppiä.

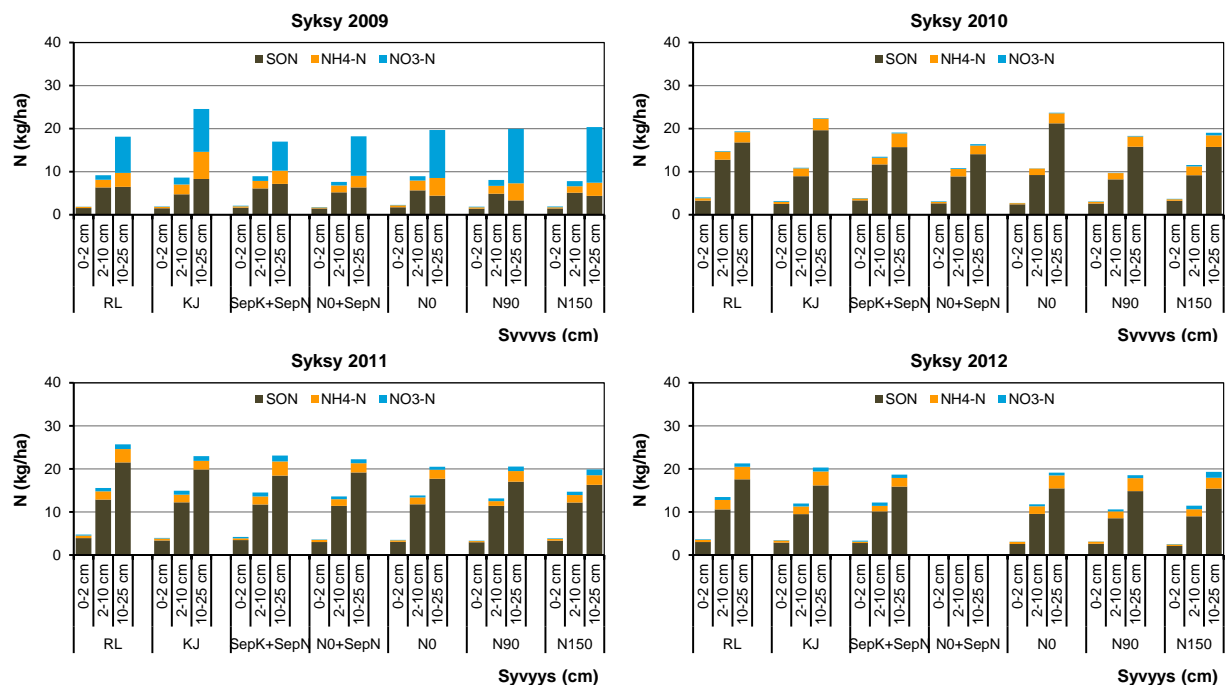
Koevuosien 2009–2011 aikana liukoisen orgaanisen typen määrä kasvoi nurmiruuduilla keskimäärin n. 22 kg/ha, kun taas samanaikaisesti epäorgaanisen typen määrä pieneni n. 11 kg/ha. Viimeisen koevuoden 2012 näytteissä liukoisen orgaanisen typen määrät olivat kuitenkin edellistä vuotta keskimäärin 6 kg/ha pienempiä, minkä seurauksena lisäys liukoisen kokonaistypen määrässä oli kokeen aikana vain n. 5 kg/ha (Kuva 25). Nurmivuosien väliset erot liukoisessa orgaanisessa tyypessä voivat kuvastaa esim. sääolosuhteista aiheutuvaa vaihtelua orgaanisen aineksen mineralisaatioissa. Kokeen lopussa raakalannan ja käsittelyjäännöksen levittäminen olivat lisänneet muokkauskerroksen liukoisia typpivarjoja 2. sadolle lannoittamattomaan koejäseneseen verrattuna n. 2–4 kg/ha, joten orgaanisten lannoitteiden käytöllä ei näyttänyt olevan merkittävää vaikutusta maan liukoisiin typpivaroihin. Kun kuitenkin huomioidaan maan typen mineralisaatiopotentiaali, on osa orgaanisissa ja epäorgaanisissa lannoitteissa lisätystä typestä hävinnyt haihtumisen, denitrifikaation, huuhtoutumisen ja immobilisaation kautta, eikä niiden osuuksia ole tässä tutkimuksessa arvioitu. Lietelannan ja käsittelyjäännöksen sijoittaminen vähentävät tehokkaasti ammoniakkin haihtumista (Rubæk ym. 1996, Mat-



tila & Joki-Tokola 2003, Uusi-Kämpä & Mattila 2010), kun taas letkulevityksessä ammoniakkin haihtumisen tappiot ovat n. 30 %:n luokkaa (Mattila & Joki-Tokola 2003) ja laiduntavien nautojen virtsan tappiot ovat n. 20 %:n luokkaa (Saarijärvi ym. 2006c). Tämän takia on hyvin todennäköistä, että tässä tutkimuksessa nestejakeen pintalevityksessä typpihävikki ammoniakkin haihtumisena on saattanut olla suurehkoa sääolosuhteista riippuen (etenkin levityksen jälkeinen poikkeuksellisen lämmin ja kuiva heinäkuu vuonna 2010).



**Kuva 25.** a) Muokkauskerroksen (0–25 cm) liukoisen epäorgaanisen ( $\text{NH}_4\text{-N}$  +  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ja liukoisen orgaanisen typen (SON) määrä (kg/ha) syksyllä 2009–2012 otetuissa maanäytteissä. b) KCl-uuttoisten typpifraktioiden suhteelliset %-osuudet liukoisesta kokonaistypestä (= 100 %). SON = liukoinen kokonaistyyppi – ( $\text{NH}_4\text{-N}$  +  $\text{NO}_3\text{-N}$ ). Koejäsenet: RL (1) = Raakalanta, KJ (2) = Käsittelyjäännös, SepN+SepK (3) = Käsittelyjäännöksestä separoitu nestejake + separoitu kuivajake perustettaessa, NO+SepN (4) = Käsittelyjäännöksestä separoitu nestejake (0 kg N/ha sekä perustettaessa että vuonna 2011), NO (5) = Väkilannoite 0 kg N/ha, N90 (8) = Väkilannoite 90 kg N/ha ja N150 (10) = Väkilannoite 150 kg N/ha. (Ks. Taulukko 1).



**Kuva 26.** Liukoisen epäorgaanisen ( $\text{NH}_4\text{-N}$  +  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ja liukoisen orgaanisen typen (SON) määrä (kg/ha) 0–2, 2–10 ja 10–25 cm:n maakerroksissa syksyllä 2009–2012 otetuissa näytteissä. SON = liukoinen kokonaistyyppi – ( $\text{NH}_4\text{-N}$  +  $\text{NO}_3\text{-N}$ ). Koejäsenet: RL (1) = Raakalanta, KJ (2) = Käsittelyjäännös, SepN+SepK (3) = Käsittelyjäännöksestä separoitu nestejake + separoitu kuivajake perustettaessa, NO+SepN (4) = Käsittelyjäännöksestä separoitu nestejake (0 kg N/ha sekä perustettaessa että vuonna 2011), NO (5) = Väkilannoite 0 kg N/ha, N90 (8) = Väkilannoite 90 kg N/ha ja N150 (10) = Väkilannoite 150 kg N/ha. (Ks. Taulukko 1).

Tässä tutkimuksessa nurmikokeen maanäytteistä satovuosina mitatut maan liukoisen epäorgaanisen typen kokonaispitoisuudet olivat ohrakokeeseen verrattuna selvästi pienempiä ja liukoisen orgaanisen typen pitoisuudet vastaavasti suurempia. Suoraa vertailtavuutta vaikeuttavat kuitenkin erot koalueiden (ohra 2010–2011 vs. nurmi 2009–2012) lähtökohtaisesti erilaisissa maaperän ominaisuuksissa, kuten kokonaistypen ja orgaanisen hiilen pitoisuuksissa, jotka olivat kokeiden perustamisvaiheessa nurmikokeella ohrakoetta selvästi suuremmat.

Erot kuvastavat eri viljelykierrossa olleiden maiden eroja maan typen kierrossa sekä nurmen tehokasta typen ottoa; nurmi ottaa toiselle sadolle annetun orgaanisten lannoitteiden ja väkilannoitteiden typen joko sadossa tai toisen niiton korjuun jälkeen. Nurmille onkin tyypillistä, että ne sisältävät usein vain niukasti nitraattityppeä, minkä on esitetty johtuvan myös siitä, että nurmikasvien juurieritteet toimisivat eräänlaisina nitrifikaatioinhiittoreina vähentäen ammoniumtypen muuntumista nitraatiksi. Nurmet tuottavat maahan myös runsaasti orgaanista ainesta (kasvinjäänteet, juuristo, juurieritteet), jonka hajotus voi hidastua, jos nurmikasvuston alla maan ilmanvaihto on riittämätöntä (esiintyy esim. paikallisesti hapettomia olosuhteita) (Stevenson & Cole 1999). Peltoon talveksi jäävälle nurmikasvustolle voi kertyä kuivamassaa valkoapilaheinälaitumella keskimäärin 1680 kg/ha ja heinälaitumella 2390 kg/ha (Saarijärvi ym. 2007) sekä säilörehunurmella kahden niiton systeemissä toisen sadon korjuuajankohdasta riippuen 860–3700 kg/ha (Järvenranta ym. 2014a, Rätty ym. 2015a, Kykkänen ym. 2016). Toisen sadon korjuun jälkeen nurmikasvuston ravinteiden otto jatkuu vielä pitkälle syksyyn ja se sitoo itseensä typpeä 25–42 kg/ha ja fosforia 3–5 kg/ha (Järvenranta ym. 2014, Rätty ym. 2015a), joista osa voi huuhtoutua kevätsulun mukana.

Laboratoriokokeiden (Uusi-Kämpä 2012), sadetuskokeiden (Uusi-Kämpä ym. 2012) ja suoja-kaistoilta otettujen kehikonäytteiden (Rätty ym. 2010) avulla on osoitettu, että kasviaineksen jäätyminen ja sulaminen lisäävät fosforin huuhtoumispotentiaalia. Lumipeitteen oheneminen voi osaltaan altistaa nurmikasvustoa kasvisolukkoa vaurioitaville jäätymis-sulamissykleille ja heijastua edelleen pintavaluntaveden kohonneina fosforipitoisuuksina (Rätty ym. 2015a). Luke Maaningan hyvin vettä läpäisevää hienoa hietaa olevalla lysisimetri- ja pintavaluntakentällä lannoitetulta heinälaitumelta kokonaisfosforia on havaittu huuhtoutuvan pintavalunnassa keskimäärin 0,9–1,2 kg/ha/v (Järvenranta ym. 2014b), kun taas toiselle sadolle lietalantaa saaneelta säilörehunurmelta huuhtouma on ollut edellistä pienempää (Rätty ym. 2015b). Fosfori on huuhtoutunut pääosin lumen sulamisesta aiheutuvassa pintavalunnassa ja se on ollut valtaosin liukoisessa, leville välittömästi käyttökelpoisessa muodossa. Lumen sulamisen alkuvaiheessa kasviaineksestä peräisin oleva fosfori selittää todennäköisesti liukoisen fosforin suuren osuuden.

Tämän, mutta myös useiden aikaisempien tutkimusten tulokset osoittavat, että etenkin nurmilla liukoinen orgaaninen typpifraktio muodostaa merkittävän osan liukoisesta kokonaistypestä (Bhagal ym. 2000, Murphy ym. 2000, Jones ym. 2004, Saarijärvi ym. 2006b). Murphys ym. (2000) kirjallisuus selvityksessä esimerkiksi Englannissa kahdeksan vuotta nurmella olleen pellon muokkauskerros (0–25 cm) sisälsi liukoista orgaanista typpeä keskimäärin 18 kg/ha, kun sitä oli yksivuotisten kasvien viljelyssä n. 7 kg/ha. Kyseisessä tutkimuksessa liukoinen orgaaninen typpi muodosti 33 % ja 60 % liukoisesta kokonaistypestä osuuden ollessa suurempi nurmiviljelyssä kuin yksivuotisten kasvien viljelyssä. Suomalaisessa laitumen typpifraktioiden dynamiikkaa selvittäneessä tutkimuksessa on havaittu, että laidunnurmella oli 0–45 cm:n syvyydessä liukoista kokonaistypeä keskimäärin 60 kg/ha (45–75 kg/ha), josta orgaanisen typen osuus oli huomattavan suuri, jopa 90 % (Saarijärvi ym. 2006b, Saarijärvi & Virkajärvi 2009). Vaihtelulle alttiiseen epäorgaaniseen fraktioon verrattuna liukoisen orgaanisen typpifraktion on havaittu säilyvän määrällisesti melko muuttumattomana (Murphy ym. 2000, Saarijärvi ym. 2006b, Saarijärvi & Virkajärvi 2009). Liukoinen orgaaninen typpifraktio koostuu helposti hajoavista pienimolekyylisistä (mm. aminohapot ja -sokerit) sekä vaikeammin hajoavista suurimolekyylisistä typpiyhdisteistä (mm. heterosykliset N-yhdisteet), joiden on katsottu olevan välivaihe typpikierrossa ja joista osa on suoraan mikrobien ja joidenkin kasvien hyödynnettävissä (Murphy ym. 2000, Jones ym. 2004). Liukoisen orgaanisen typen ekologista merkitystä ei vielä kaikilta osin tunneta

ja sen merkitystä maaperän typpikierrossa tulisikin tutkia tarkemmin (Bhogal ym. 2000, Murphy ym. 2000, Jones ym. 2004, Saarijärvi ym. 2006b).

Salo ym. (2015) ehdottavat, että ottamalla lannoituksessa paremmin huomioon sekä orgaanisiin lannoitteisiin että maan orgaanisen ainekseen sisältyvän typen voitaisiin mahdollisesti vähentää väkilannoitteiden käyttöä, joiden valmistus itsessään kuluttaa energiaa ja luonnonvaroja. Liukoisen orgaanisen typpifraktion sisällyttämistä lannoitussuositukseen on kuitenkin jarruttanut se, että liukoisia orgaanisia typpivaroja kerryttäviä ja niitä kuluttavia prosesseja ja olosuhteita ei vielä tunneta riittävästi hyvin (Murphy ym. 2000). Yleistäen ravinteiden mobilisoitumista ei kuitenkaan tulisi edistää viljelymenetelmillä, jotka samanaikaisesti alentavat viljelysmaiden orgaanisen aineksen pitoisuutta, koska maan orgaanisella aineksella on keskeinen merkitys ravinteiden kierron ja maan rakenteen kannalta (Stevenson & Cole 1999).

**Taulukko 43.** Nurmikokeelta syksyllä 2009 otettujen maanäytteiden orgaanisen hiilen (C), kokonaistypen (N), kaliumin ( $K_{HAAC}$ ) ja fosforin ( $P_{HAAC}$ ) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Nurmi 2009**

Koe- jäsen	Lannoitus	C %			N %			$K_{HAAC}$ mg/l maata			$P_{HAAC}$ mg/l maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	6,70	6,87	6,84	0,40	0,41	0,41	115	112	123	6,90	7,09	6,94
2	Käsittelyjäännös	6,27	6,41	6,41	0,37	0,38	0,38	119	117	120	6,91	7,33	7,19
3	Separoitu kuiva	6,79	6,75	6,49	0,40	0,40	0,38	125	110	124	8,78	7,88	7,06
4	Väkilannoite 0 N	6,21	6,37	6,25	0,37	0,38	0,37	107	101	111	6,13	6,52	6,28
5	Väkilannoite 15 N	6,44	6,48	6,32	0,38	0,39	0,38	125	119	133	6,92	6,73	6,66
6	Väkilannoite 30 N	6,61	6,70	6,67	0,38	0,40	0,39	107	95	109	6,24	6,85	6,19
7	Väkilannoite 45 N	6,82	6,73	6,82	0,40	0,40	0,40	120	109	121	6,29	6,10	6,16
8	Väkilannoite 60 N	6,38	6,20	6,18	0,37	0,36	0,36	124	104	117	7,13	6,16	6,06
9	Väkilannoite 75 N	6,76	6,99	6,99	0,40	0,41	0,41	130	110	118	5,94	6,05	5,76
10	Väkilannoite 75 N	6,86	6,87	6,71	0,40	0,41	0,39	128	109	126	6,81	6,32	6,29
	Keskiarvo	<b>6,58</b>	<b>6,64</b>	<b>6,57</b>	<b>0,39</b>	<b>0,39</b>	<b>0,39</b>	<b>120</b>	<b>109</b>	<b>120</b>	<b>6,80</b>	<b>6,70</b>	<b>6,46</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,236			0,015			9,9			0,603	
P-arvot	Koejäsen		0,31			0,39			0,46			0,10	
	Syvyys		0,42			0,32			<b>&lt;0,001</b>			0,19	
	Koejäsen*Syvyys		0,39			0,60			0,68			0,12	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,17			0,17			0,82			0,78	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva		0,32			0,50			0,91			0,21	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva		0,69			0,47			0,74			0,13	

**Taulukko 44.** Nurmikokeelta syksyllä 2009 otettujen maanäytteiden  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  sekä kalsiumin ( $\text{Ca}_{\text{HAAC}}$ ), magnesiumin ( $\text{Mg}_{\text{HAAC}}$ ) ja rikin ( $\text{S}_{\text{HAAC}}$ ) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>Nurmi 2009</b>		<b>pH *</b>			<b>Ca<sub>HAAC</sub> **</b>			<b>Mg<sub>HAAC</sub></b>			<b>S<sub>HAAC</sub> ***</b>		
<b>Koe- jäsen</b>	<b>Lannoitus</b>	<b>mg/l maata</b>			<b>mg/l maata</b>			<b>mg/l maata</b>			<b>mg/l maata</b>		
		<b>0-2 cm</b>	<b>2-10 cm</b>	<b>10-25 cm</b>	<b>0-2 cm</b>	<b>2-10 cm</b>	<b>10-25 cm</b>	<b>0-2 cm</b>	<b>2-10 cm</b>	<b>10-25 cm</b>	<b>0-2 cm</b>	<b>2-10 cm</b>	<b>10-25 cm</b>
1	Raakalanta	6,18	6,23	6,19	2118	2193	2111	270	271	267	14,28	16,36	16,04
2	Käsittelyjäännös	6,23	6,24	6,33	2095	2073	2246	275	270	277	14,13	15,18	14,53
3	Separoitu kuiva	6,22	6,21	6,35	2237	2157	2307	290	277	284	14,39	17,14	15,91
4	Väkilannoite 0 N	6,15	6,17	6,23	2181	2251	2231	269	274	274	16,59	26,54	18,93
5	Väkilannoite 15 N	6,11	6,12	6,14	2103	2133	2047	268	264	265	21,98	20,11	16,85
6	Väkilannoite 30 N	6,12	6,06	6,16	2231	2211	2223	272	265	277	18,23	28,23	16,90
7	Väkilannoite 45 N	6,07	6,10	6,19	2277	2284	2308	261	273	272	18,93	25,79	16,11
8	Väkilannoite 60 N	6,14	6,06	6,23	2070	2038	2158	268	266	288	18,40	29,35	17,69
9	Väkilannoite 75 N	6,12	6,00	6,18	2168	2184	2177	266	274	278	18,42	24,55	15,98
10	Väkilannoite 75 N	6,08	6,05	6,16	2174	2197	2187	263	267	276	23,33	31,66	17,73
	Keskiarvo	<b>6,14</b>	<b>6,12</b>	<b>6,21</b>	<b>2165</b>	<b>2172</b>	<b>2199</b>	<b>270</b>	<b>270</b>	<b>276</b>	<b>17,87</b>	<b>23,49</b>	<b>16,67</b>
	Keskiarvon keskivirhe					148,5			12,9				
P-arvot	Koejäsen		0,21			0,42			0,70			<b>0,002</b>	
	Syvyys		<b>0,008</b>			0,25			<b>0,016</b>			<b>0,013</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,067			0,44			0,18			<b>0,013</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,44			0,98			0,57			0,56	
	Raakalanta vs. separoitu kuiva		0,93			0,11			0,26			0,47	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu kuiva					0,11			0,10			0,89	

\* Käytetty muunnosta  $\text{MH}_3\text{O}^+ = 1\,000\,000 \cdot 10^{(-\text{pH})}$  \*\* Poistettu koejäsenten 1, 2 ja 3 havainnot kerranteelta 1 poikkeavan korkeina.

\*\*\* Käytetty logaritmimuunnosta.

**Taulukko 45.** Nurmikokeelta syksyllä 2009 otettujen maanäytteiden KCl-uttoisen ammoniumtyypen (NH<sub>4</sub>-N), nitraattityypen (NO<sub>3</sub>-N) ja kokonaistypen pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Kuiva-aineena on käytetty vuosien 2010 ja 2011 keskiarvoja. Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Nurmi 2009**

Koe- jäsen	Lannoitus	ka %			NH <sub>4</sub> -N mg/kg maata			NO <sub>3</sub> -N mg/kg maata			Tot-N mg/kg maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	65	67	69	1,27	2,22	2,15	0,39	1,35	5,59	9,47	11,50	12,08
2	Käsittelyjäänös	65	67	69	1,63	2,88	4,19	0,47	1,99	6,62	9,58	10,80	16,37
3	Separoitu kuiva	65	67	69	1,67	2,18	2,04	0,57	1,35	4,48	10,50	11,20	11,32
4	Väkilannoite 0 N	65	67	69	1,35	2,01	1,81	0,35	1,03	6,10	8,90	9,53	12,13
5	Väkilannoite 15 N	65	67	69	2,35	2,82	2,76	0,43	1,29	7,42	11,48	11,22	13,12
6	Väkilannoite 30 N	65	67	69	1,29	1,81	1,96	0,37	1,09	5,86	10,33	10,72	12,64
7	Väkilannoite 45 N	65	67	69	1,69	2,03	2,17	0,69	2,08	8,45	10,47	10,40	14,06
8	Väkilannoite 60 N	65	67	69	1,61	2,24	2,66	0,51	1,71	8,43	9,29	10,09	13,30
9	Väkilannoite 75 N	65	67	69	1,65	1,69	2,08	0,45	3,10	10,04	10,00	10,58	14,37
10	Väkilannoite 75 N	65	67	69	1,33	1,87	2,02	0,90	1,51	8,62	9,60	9,77	13,57
	Keskiarvo	<b>65</b>	<b>67</b>	<b>69</b>	<b>1,58</b>	<b>2,17</b>	<b>2,38</b>	<b>0,51</b>	<b>1,65</b>	<b>7,16</b>	<b>9,96</b>	<b>10,58</b>	<b>13,29</b>
	Keskiarvon keskivirhe					0,491			0,891		0,834		
P-arvot	Koejäsen					0,076			<b>0,001</b>		<b>0,029</b>		
	Syvyys					<b>0,043</b>			<b>&lt;0,001</b>		<b>&lt;0,001</b>		
	Koejäsen*Syvyys					0,95			<b>0,004</b>		<b>0,036</b>		
	Raakalanta vs. käsittelyjäänös					<b>0,020</b>			0,26		<b>0,028</b>		
	Raakalanta vs. separoitu kuiva					<b>0,032</b>			0,090		<b>0,027</b>		
	Käsittelyjäänös vs. separoitu kuiva					0,84			0,55		0,98		

**Taulukko 46.** Nurmikokeelta syksyllä 2010 otettujen maanäytteiden orgaanisen hiilen (C), kokonaistypen (N), kaliumin ( $K_{HAAC}$ ) ja fosforin ( $P_{HAAC}$ ) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Nurmi 2010**

Koe- jäsen	Lannoitus	C %			N %			$K_{HAAC}$ * mg/l maata			$P_{HAAC}$ mg/l maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	7,03	6,76	6,52	0,40	0,38	0,36	220	114	103	9,04	7,13	6,89
2	Käsittelyjäännös	6,60	6,24	6,28	0,38	0,35	0,35	202	105	103	9,22	7,30	7,13
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	6,86	6,44	6,17	0,39	0,36	0,34	198	99	100	10,60	7,31	6,70
4	Separoitu neste (0 N perust.)	6,42	6,21	6,08	0,36	0,35	0,34	189	102	99	7,88	6,71	5,94
5	Väkilannoite 0 N	6,27	6,37	6,32	0,35	0,36	0,36	166	108	104	6,58	6,41	6,54
6	Väkilannoite 30 N	6,45	6,55	6,42	0,36	0,37	0,37	168	93	92	7,05	6,10	5,87
7	Väkilannoite 60 N	6,77	6,57	6,66	0,39	0,38	0,38	181	100	105	7,60	6,11	6,02
8	Väkilannoite 90 N	6,20	6,16	6,12	0,36	0,35	0,35	149	90	92	6,91	5,61	5,97
9	Väkilannoite 120 N	6,77	6,80	6,71	0,39	0,39	0,38	173	90	91	6,67	5,95	5,57
10	Väkilannoite 150 N	6,60	6,41	6,51	0,38	0,37	0,38	167	94	97	6,84	5,96	6,04
	Keskiarvo	<b>6,60</b>	<b>6,45</b>	<b>6,38</b>	<b>0,37</b>	<b>0,37</b>	<b>0,36</b>	<b>181</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>7,84</b>	<b>6,46</b>	<b>6,27</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,234			0,015						0,656	
P-arvot	Koejäsen		0,50			0,55			0,073			<b>0,016</b>	
	Syvyys		<b>0,005</b>			<b>0,004</b>			<b>&lt;0,001</b>			<b>&lt;0,001</b>	
	Koejäsen*Syvyys		<b>0,013</b>			<b>&lt;0,001</b>			0,90			<b>&lt;0,001</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,20			0,31			0,46			0,79	
	Raakalanta vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,36			0,47			0,24			0,47	
	Raakalanta vs. separoitu neste (0 N p.)		0,087			0,14			0,20			0,23	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,70			0,77			0,67			0,65	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (0 N p.)		0,66			0,64			0,58			0,14	
	Sep. neste (kuiva p.) vs. sep. neste (0 N p.)		0,41			0,45			0,90			0,057	

\* Käytetty ln(x)-muunnosta.

**Taulukko 47.** Nurmikokeelta syksyllä 2010 otettujen maanäytteiden pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> sekä kalsiumin (Ca<sub>HAAC</sub>), magnesiumin (Mg<sub>HAAC</sub>) ja rikin (S<sub>HAAC</sub>) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>Nurmi 2010</b>		<b>pH *</b>			<b>Ca<sub>HAAC</sub> **</b>			<b>Mg<sub>HAAC</sub></b>		
<b>Koe- jäsen</b>	<b>Lannoitus</b>				<b>mg/l maata</b>			<b>mg/l maata</b>		
		<b>0-2 cm</b>	<b>2-10 cm</b>	<b>10-25 cm</b>	<b>0-2 cm</b>	<b>2-10 cm</b>	<b>10-25 cm</b>	<b>0-2 cm</b>	<b>2-10 cm</b>	<b>10-25 cm</b>
1	Raakalanta	6,15	6,18	6,06	1950	2115	1978	260	252	245
2	Käsittelyjäännös	6,24	6,20	6,27	2001	2062	2139	264	246	254
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	6,23	6,27	6,23	2113	2292	2173	291	269	258
4	Separoitu neste (0 N perust.)	6,14	6,20	6,20	2075	2280	2191	260	265	270
5	Väkilannoite 0 N	5,92	6,04	6,04	1931	2122	2102	214	251	257
6	Väkilannoite 30 N	5,93	6,04	6,01	1975	2140	2037	206	247	252
7	Väkilannoite 60 N	5,80	6,07	6,11	2056	2229	2233	205	249	260
8	Väkilannoite 90 N	5,89	6,12	6,12	1993	2205	2105	217	265	268
9	Väkilannoite 120 N	5,85	5,96	6,10	1956	2108	2153	209	245	267
10	Väkilannoite 150 N	5,90	6,04	6,14	1941	2148	2198	206	253	266
	Keskiarvo	<b>6,00</b>	<b>6,11</b>	<b>6,13</b>	<b>1999</b>	<b>2170</b>	<b>2131</b>	<b>233</b>	<b>254</b>	<b>260</b>
	Keskiarvon keskivirhe		.			135,5			12,0	
P-arvot	Koejäsen		<b>&lt;0,001</b>			0,59			<b>0,001</b>	
	Syvyys		<b>&lt;0,001</b>			<b>&lt;0,001</b>			<b>&lt;0,001</b>	
	Koejäsen*Syvyys		<b>&lt;0,001</b>			0,35			<b>&lt;0,001</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,25			0,61			0,79	
	Raakalanta vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,23			0,091			<b>0,032</b>	
	Raakalanta vs. separoitu neste (0 N p.)		0,57			0,092			0,18	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,96			0,23			0,058	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (0 N p.)		0,56			0,25			0,28	
	Sep. neste (kuiva p.) vs. sep. neste (0 N p.)		0,52			0,91			0,40	

\* Käytetty muunnosta  $MH_3O^+ = 1\ 000\ 000 \cdot 10^{-(pH)}$  \*\* Poistettu koejäsenten 1, 2 ja 3 havainnot kerranteelta 1 poikkeavan korkeina.



**Taulukko 48.** Nurmikokeelta syksyllä 2010 otettujen maanäytteiden kuiva-aineprosentti sekä KCl-uuttoisen ammoniumtyypen (NH<sub>4</sub>-N), nitraattityypen (NO<sub>3</sub>-N) ja kokonaistyypen pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Nurmi 2010**

Koe- jäsen	Lannoitus	ka %			NH <sub>4</sub> -N mg/kg maata			NO <sub>3</sub> -N mg/kg maata			Tot-N mg/kg maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	66	68	69	2,93	2,37	1,58	0,75	0,18	0,14	20,03	18,52	12,91
2	Käsittelyjäännös	66	68	69	2,48	2,29	1,75	0,84	0,18	0,12	15,91	13,66	14,96
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	67	68	69	2,21	1,97	2,12	0,55	0,28	0,13	19,42	16,85	12,73
4	Separoitu neste (0 N perust.)	68	68	69	1,62	2,15	1,36	0,63	0,22	0,21	15,58	13,51	10,94
5	Väkilannoite 0 N	69	69	70	1,39	1,83	1,55	0,25	0,06	0,10	13,77	13,45	15,80
6	Väkilannoite 30 N	68	68	69	1,34	1,72	1,80	0,31	0,02	0,02	13,62	14,32	12,47
7	Väkilannoite 60 N	67	68	69	2,18	1,87	1,78	0,34	0,08	0,12	16,99	14,11	15,49
8	Väkilannoite 90 N	69	69	70	2,01	1,79	1,59	0,34	0,06	0,08	15,49	12,14	12,21
9	Väkilannoite 120 N	67	68	68	1,61	2,01	1,85	0,24	0,15	0,20	15,43	16,26	12,69
10	Väkilannoite 150 N	67	68	69	1,94	2,59	1,80	0,42	0,39	0,39	18,58	14,44	12,70
	Keskiarvo	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>1,97</b>	<b>2,06</b>	<b>1,72</b>	<b>0,47</b>	<b>0,16</b>	<b>0,15</b>	<b>16,48</b>	<b>14,73</b>	<b>13,29</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,6			0,570			0,168			1,841	
P-arvot	Koejäsen		0,19			<b>&lt;0,001</b>			<b>0,049</b>			<b>0,049</b>	
	Syvyys		<b>0,003</b>			0,85			0,13			0,094	
	Koejäsen*Syvyys		<b>0,009</b>			0,066			<b>0,003</b>			0,17	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,73			0,49			0,85			0,075	
	Raakalanta vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,56			0,27			0,74			0,53	
	Raakalanta vs. separoitu neste (0 N p.)		0,35			<b>0,001</b>			0,97			<b>0,004</b>	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,81			0,67			0,60			0,26	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (0 N p.)		0,56			<b>0,009</b>			0,82			0,24	
	Sep. neste (kuiva p.) vs. sep. neste (0 N p.)		0,73			<b>0,027</b>			0,77			<b>0,026</b>	

**Taulukko 49.** Nurmikokeelta syksyllä 2011 otettujen maanäytteiden orgaanisen hiilen (C), kokonaistypen (N), kaliumin ( $K_{HAAC}$ ) ja fosforin ( $P_{HAAC}$ ) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Nurmi 2011**

Koe- jäsen	Lannoitus	C			N			$K_{HAAC}$			$P_{HAAC}$		
		%			%			mg/l maata			mg/l maata		
		0-2	2-10	10-25	0-2	2-10	10-25	0-2	2-10	10-25	0-2	2-10	10-25
		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	Raakalanta	7,21	6,52	6,30	0,42	0,39	0,37	139	99	94	7,43	6,23	5,66
2	Käsittelyjäännös	6,55	6,16	5,67	0,38	0,36	0,32	145	103	94	8,31	6,85	6,02
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	6,84	6,28	5,73	0,40	0,36	0,33	169	99	96	9,41	6,79	5,47
4	Väkilannoite 0 N (2010 sep. neste)	6,36	6,15	5,63	0,37	0,36	0,32	110	94	95	6,04	5,85	5,22
5	Väkilannoite 0 N	6,43	6,20	5,49	0,37	0,36	0,31	144	105	108	7,77	5,93	5,52
6	Väkilannoite 30 N	6,74	6,51	6,10	0,39	0,38	0,34	124	86	89	7,29	5,66	5,16
7	Väkilannoite 60 N	6,89	6,72	5,72	0,40	0,39	0,33	133	100	95	7,46	6,00	5,20
8	Väkilannoite 90 N	6,41	6,17	5,48	0,37	0,36	0,31	124	95	97	7,24	5,67	4,88
9	Väkilannoite 120 N	6,85	6,54	5,55	0,39	0,37	0,31	119	82	89	6,74	5,25	4,64
10	Väkilannoite 150 N	6,79	6,42	5,28	0,40	0,38	0,31	123	88	93	7,79	5,73	5,30
	Keskiarvo	<b>6,71</b>	<b>6,37</b>	<b>5,69</b>	<b>0,39</b>	<b>0,37</b>	<b>0,32</b>	<b>133</b>	<b>95</b>	<b>95</b>	<b>7,55</b>	<b>5,99</b>	<b>5,31</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,335			0,021			10,0			0,558	
P-arvot	Koejäsen		0,55			0,44			0,27			0,15	
	Syvyys		<b>0,035</b>			<b>0,028</b>			<b>0,001</b>			<b>&lt;0,001</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,42			0,30			<b>0,002</b>			<b>&lt;0,001</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,10			<b>0,046</b>			0,74			0,30	
	Raakalanta vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,24			0,13			0,34			0,20	
	Raakalanta vs. 0 N (2010 sep. neste)		0,065			<b>0,033</b>			0,28			0,23	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,63			0,61			0,52			0,79	
	Käsittelyjäännös vs. 0 N (2010 sep. neste)		0,81			0,88			0,16			<b>0,030</b>	
	Sep. neste (kuiva p.) vs. 0 N (2010 sep. neste)		0,47			0,51			<b>0,048</b>			<b>0,016</b>	

**Taulukko 50.** Nurmikokeelta syksyllä 2011 otettujen maanäytteiden pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> sekä kalsiumin (Ca<sub>HAAC</sub>) ja magnesiumin (Mg<sub>HAAC</sub>) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

<b>Nurmi 2011</b>		<b>pH *</b>			<b>Ca<sub>HAAC</sub> **</b>			<b>Mg<sub>HAAC</sub></b>		
<b>Koe- jäsen</b>	<b>Lannoitus</b>				<b>mg/l maata</b>			<b>mg/l maata</b>		
		<b>0-2 cm</b>	<b>2-10 cm</b>	<b>10-25 cm</b>	<b>0-2 cm</b>	<b>2-10 cm</b>	<b>10-25 cm</b>	<b>0-2 cm</b>	<b>2-10 cm</b>	<b>10-25 cm</b>
1	Raakalanta	6,05	6,12	6,02	2106	2222	1977	304	282	276
2	Käsittelyjäänös	6,19	6,26	6,09	2151	2278	1975	292	289	278
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	6,18	6,21	6,15	2186	2280	2099	334	297	294
4	Väkilannoite 0 N (2010 sep. neste)	6,05	6,16	6,08	2187	2415	2103	288	298	295
5	Väkilannoite 0 N	5,82	6,04	6,03	2005	2226	2042	223	279	289
6	Väkilannoite 30 N	5,72	6,00	5,96	2001	2289	1990	212	274	275
7	Väkilannoite 60 N	5,76	6,07	6,04	2056	2427	2211	205	273	2890
8	Väkilannoite 90 N	5,77	6,03	6,05	1948	2266	2011	214	287	294
9	Väkilannoite 120 N	5,69	6,01	6,05	1889	2263	2024	194	280	298
10	Väkilannoite 150 N	5,72	6,06	6,02	1874	2286	1970	191	283	289
	Keskiarvo	<b>5,90</b>	<b>6,09</b>	<b>6,05</b>	<b>2040</b>	<b>2295</b>	<b>2040</b>	<b>245</b>	<b>284</b>	<b>288</b>
	Keskiarvon keskivirhe					114,1			14,6	
P-arvot	Koejäsen		<b>&lt;0,001</b>			0,43			<b>&lt;0,001</b>	
	Syvyys		<b>&lt;0,001</b>			<b>0,007</b>			<b>&lt;0,001</b>	
	Koejäsen*Syvyys		<b>&lt;0,001</b>			0,16			<b>&lt;0,001</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäänös		0,21			0,77			0,87	
	Raakalanta vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,20			0,44			<b>0,043</b>	
	Raakalanta vs. separoitu neste (0 N p.)		0,68			0,21			0,54	
	Käsittelyjäänös vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,96			0,63			<b>0,031</b>	
	Käsittelyjäänös vs. separoitu neste (0 N p.)		0,40			0,34			0,44	
	Sep. neste (kuiva p.) vs. sep. neste (0 N p.)		0,37			0,65			0,14	

\* Käytetty muunnosta  $MH_3O^+=1\ 000\ 000*10^{(-pH)}$  \*\* Poistettu koejäsenten 1, 2 ja 3 havainnot kerranteelta 1 poikkeavan korkeina.

**Taulukko 51.** Nurmikokeelta syksyllä 2011 otettujen maanäytteiden kuiva-aineprosentti sekä KCl-uuttoisen ammoniumtyypen (NH<sub>4</sub>-N), nitraattityypen (NO<sub>3</sub>-N) ja kokonaistyypen pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Nurmi 2011**

Koe- jäsen	Lannoitus	ka %			NH <sub>4</sub> -N mg/kg maata			NO <sub>3</sub> -N mg/kg maata			Tot-N mg/kg maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	61	66	67	3,05	2,39	2,06	1,14	0,95	0,73	23,80	19,45	17,14
2	Käsittelyjäännös	64	67	68	2,14	2,26	1,34	0,73	1,10	0,73	19,85	18,65	15,32
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	62	66	68	2,07	2,37	2,18	1,44	1,14	0,93	20,97	18,17	15,41
4	Väkilannoite 0 N (2010 sep. neste)	64	67	67	2,38	1,97	1,44	0,50	0,76	0,59	18,02	17,00	14,82
5	Väkilannoite 0 N	64	67	69	1,95	2,00	1,39	0,31	0,60	0,47	17,55	17,31	13,67
6	Väkilannoite 30 N	64	66	67	1,98	2,56	1,89	0,30	0,65	0,58	17,99	21,19	16,20
7	Väkilannoite 60 N	64	66	67	2,50	3,50	2,15	0,50	0,98	0,74	19,11	19,56	17,54
8	Väkilannoite 90 N	65	67	68	1,40	1,37	1,66	0,44	0,78	0,67	16,59	16,43	13,69
9	Väkilannoite 120 N	64	65	68	1,86	2,09	1,20	0,59	0,94	0,67	17,80	18,30	13,68
10	Väkilannoite 150 N	63	66	69	2,10	2,15	1,50	0,70	1,00	0,86	19,39	18,40	13,23
	Keskiarvo	<b>64</b>	<b>66</b>	<b>68</b>	<b>2,14</b>	<b>2,27</b>	<b>1,68</b>	<b>0,66</b>	<b>0,89</b>	<b>0,70</b>	<b>19,11</b>	<b>18,45</b>	<b>15,07</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,9			0,503			0,181			1,288	
P-arvot	Koejäsen		0,45			<b>0,008</b>			<b>0,007</b>			<b>0,015</b>	
	Syvyys		<b>0,002</b>			<b>0,004</b>			<b>&lt;0,001</b>			<b>0,013</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,22			0,84			<b>&lt;0,001</b>			0,055	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,18			0,052			0,60			0,067	
	Raakalanta vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,77			0,32			0,17			0,10	
	Raakalanta vs. 0 N (2010 sep. neste)		0,16			0,059			0,059			<b>0,005</b>	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,29			0,31			0,065			0,83	
	Käsittelyjäännös vs. 0 N (2010 sep. neste)		0,93			0,95			0,16			0,26	
	Sep. neste (kuiva p.) vs. 0 N (2010 sep. neste)		0,26			0,34			<b>0,002</b>			0,18	

**Taulukko 52.** Nurmikokeelta syksyllä 2012 otettujen maanäytteiden orgaanisen hiilen (C), kokonaistypen (N), kaliumin ( $K_{HAAC}$ ) ja fosforin ( $P_{HAAC}$ ) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Nurmi 2012**

Koe- jäsen	Lannoitus	C %			N %			$K_{HAAC}$ mg/l maata			$P_{HAAC}$ * mg/l maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	7,15	6,71	6,32	0,45	0,42	0,39	110	83	86	6,39	5,49	5,32
2	Käsittelyjäännös	6,70	6,28	6,08	0,42	0,39	0,38	120	86	88	6,97	6,02	6,43
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	6,90	6,42	6,07	0,44	0,40	0,38	173	98	87	7,79	6,28	5,56
5	Väkilannoite 0 N	6,58	6,24	5,76	0,41	0,39	0,36	138	99	91	8,52	5,47	5,17
6	Väkilannoite 30 N	6,83	6,54	6,26	0,42	0,41	0,38	111	79	79	7,66	5,07	4,92
7	Väkilannoite 60 N	7,11	6,81	6,50	0,45	0,42	0,41	115	81	86	7,39	4,84	4,77
8	Väkilannoite 90 N	6,56	6,21	5,89	0,41	0,39	0,37	105	75	77	7,11	4,86	4,62
9	Väkilannoite 120 N	7,09	6,61	6,14	0,44	0,41	0,38	98	70	78	6,56	4,67	4,28
10	Väkilannoite 150 N	6,82	6,75	6,34	0,43	0,43	0,40	120	77	82	7,09	4,95	4,95
	<b>Keskiarvo</b>	<b>6,86</b>	<b>6,51</b>	<b>6,15</b>	<b>0,43</b>	<b>0,41</b>	<b>0,38</b>	<b>121</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	<b>7,28</b>	<b>5,29</b>	<b>5,11</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,276			0,018			9,4			.	
P-arvot	Koejäsen		0,64			0,75			<b>0,023</b>			0,42	
	Syvyys		<b>0,002</b>			<b>0,004</b>			<b>&lt;0,001</b>			<b>0,001</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,90			0,84			<b>&lt;0,001</b>			<b>0,028</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,29			0,45			0,60			0,29	
	Raakalanta vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,46			0,61			<b>0,012</b>			0,28	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,75			0,80			<b>0,040</b>			0,98	

\* Käytetty logaritimuunnosta.

**Taulukko 53.** Nurmikokeelta syksyllä 2012 otettujen maanäytteiden pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> sekä kalsiumin (Ca<sub>HAAC</sub>) ja magnesiumin (Mg<sub>HAAC</sub>) pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Nurmi 2012**

Koe- jäsen	Lannoitus	pH *			Ca <sub>HAAC</sub> ** mg/l maata			Mg <sub>HAAC</sub> mg/l maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	5,93	6,13	6,08	2041	2221	2098	271	270	261
2	Käsittelyjäännös	6,01	6,13	6,17	2082	2168	2159	274	266	272
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	6,13	6,21	6,19	2103	2313	2224	304	291	275
5	Väkilannoite 0 N	5,73	6,01	6,04	1983	2219	2064	202	256	272
6	Väkilannoite 30 N	5,63	6,00	6,06	1951	2265	2116	185	250	266
7	Väkilannoite 60 N	5,66	5,96	6,10	2028	2333	2304	185	254	277
8	Väkilannoite 90 N	5,62	5,96	6,07	1904	2192	2176	186	258	290
9	Väkilannoite 120 N	5,50	5,98	6,08	1861	2267	2240	178	259	300
10	Väkilannoite 150 N	5,54	5,93	6,07	1757	2228	2242	164	246	281
	Keskiarvo	5,75	6,03	6,09	1968	<b>2245</b>	<b>2180</b>	<b>217</b>	<b>261</b>	<b>277</b>
	Keskiarvon keskivirhe					135,9			15,1	
P-arvot	Koejäsen		<b>&lt;0,001</b>			0,89			<b>0,001</b>	
	Syvyys		<b>&lt;0,001</b>			<b>&lt;0,001</b>			<b>&lt;0,001</b>	
	Koejäsen*Syvyys		<b>&lt;0,001</b>			<b>0,016</b>			<b>&lt;0,001</b>	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,45			0,90			0,79	
	Raakalanta vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,14			0,47			0,094	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,45			0,55			0,15	

\* Käytetty muunnosta  $MH_3O^+ = 1\ 000\ 000 \cdot 10^{-(pH)}$  \*\* Poistettu koejäsenten 1, 2 ja 3 havainnot kerranteelta 1 poikkeavan korkeina.

**Taulukko 54.** Nurmikokeelta syksyllä 2012 otettujen maanäytteiden kuiva-aineprosentti sekä KCl-uuttoisen ammoniumtyypen (NH<sub>4</sub>-N), nitraattityypen (NO<sub>3</sub>-N) ja kokonaistyypen pitoisuudet eri syvyyksillä (0–2 cm, 2–10 cm ja 10–25 cm). Tilastollisesti merkitsevät p-arvot on lihavoitu.

**Nurmi 2012**

Koe- jäsen	Lannoitus	ka %			NH <sub>4</sub> -N mg/kg maata			NO <sub>3</sub> -N mg/kg maata			Tot-N mg/kg maata		
		0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm	0-2 cm	2-10 cm	10-25 cm
1	Raakalanta	62	65	67	2,53	2,75	1,95	0,80	0,86	0,53	18,39	16,86	14,20
2	Käsittelyjäännös	63	66	67	2,47	2,24	2,14	0,45	0,83	0,61	17,35	14,95	13,54
3	Separoitu neste (kuivajae perust.)	62	65	67	1,59	1,57	1,33	1,11	1,00	0,52	16,69	15,26	12,44
5	Väkilannoite 0 N	64	66	68	2,49	2,21	2,00	0,23	0,55	0,45	15,51	14,73	12,77
6	Väkilannoite 30 N	64	66	67	3,11	1,96	2,25	0,28	0,53	0,48	17,72	14,02	13,49
7	Väkilannoite 60 N	63	65	67	1,89	1,94	2,96	0,29	0,81	0,69	16,32	15,24	14,43
8	Väkilannoite 90 N	64	66	67	2,37	2,00	1,98	0,21	0,61	0,48	15,67	13,26	12,37
9	Väkilannoite 120 N	63	65	66	2,12	2,53	2,27	0,23	0,72	0,52	16,12	15,72	11,45
10	Väkilannoite 150 N	63	65	66	1,85	2,06	1,66	0,44	1,03	0,92	12,89	14,35	12,88
	Keskiarvo	<b>63</b>	<b>65</b>	<b>67</b>	<b>2,27</b>	<b>2,14</b>	<b>2,06</b>	<b>0,45</b>	<b>0,77</b>	<b>0,58</b>	<b>16,30</b>	<b>14,93</b>	<b>13,06</b>
	Keskiarvon keskivirhe		0,9			0,583			0,239			1,280	
P-arvot	Koejäsen		0,81			0,32			<b>0,007</b>			0,37	
	Syvyys		<b>0,001</b>			0,76			<b>0,042</b>			<b>&lt;0,001</b>	
	Koejäsen*Syvyys		0,31			0,49			<b>0,003</b>			0,096	
	Raakalanta vs. käsittelyjäännös		0,49			0,73			0,45			0,34	
	Raakalanta vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,97			<b>0,025</b>			0,28			0,19	
	Käsittelyjäännös vs. separoitu neste (kuiva p.)		0,47			0,051			0,078			0,70	

## 4. Yhteenveto

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää lypsykarjan lietelannan, tilakohtaisen biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen sekä käsittelyjäännöksestä separoitujen neste- ja kuivajakeiden käyttöarvoa nurmen ja ohran tuotannossa verrattuna väkilannoitetyyppeen. Samalla pyrittiin saamaan lisää tutkittua tietoa orgaanisten lannoitteiden mahdollisuuksista lannan käytön tehostamisessa ja väkilannoitteiden korvaajana tilakohtaisissa ratkaisuissa.

### 4.1. Biokaasutusprosessin ja separoinnin vaikutus lannoitteiden ominaisuuksiin

Orgaanisissa lannoitteissa olisi eduksi saada liukoisen typen osuus kokonaistypestä mahdollisimman suureksi. Tällöin tyyppi vapautuisi ajoissa kasvien tarpeeseen nähden, jolloin se tulee paremmin hyödynnetyksi ja sitä jää vähemmän huuhtoutumiselle alttiiksi.

Kokeissa käytetyt lannoitteet analysoitiin aina levytyksien yhteydessä. Raakalanta ja käsittelyjäännös otettiin säiliöistään samaan aikaan, eikä käsittelyjäännös siksi välttämättä ole peräisin ravintepitoisuuksiltaan täysin samankaltaisesta raakalannasta kuin kokeessa käytetty raakalanta. Käytetyssä koeasetelmassa liukoisen typen pitoisuuden tai osuuden lisääntymistä ei siksi kemiallisella analytiikalla havaittu. Tähän vaikuttivat myös orgaanisten lannoitteiden analysoinnin haasteet: näytteenotto ja analytiikka heterogeenisistä lannoitteista eivät ole yksinkertaisia. Biokaasutusprosessin jäännös oli huomattavasti homogeenisempää kuin raakalanta, mikä näkyi myös käsittelyjäännöksen kemiallisten analyysien hajonnan pienentymisenä. Silti erot raakalannan ja käsittelyjäännöksen välillä olivat pienemmät kuin näytteiden sisäinen hajonta. Lukuarvoisesti käsittelyjäännöksen kokonaistypen määrä oli kuitenkin raakalantaa matalampi (2,8 kg N/t ja 3,0 kg N/t). Biokaasutusprosessoinnin etuina pidetään yleisesti myös käsittelyjäännöksen tasalaatuisuudesta seuraavaa helpompaa levitetävyyttä, tasalaatuisempaa lannoitusvaikutusta sekä raakalantaa vähäisempiä hajuhaittoja. Näitä ei tässä tutkimuksessa varsinaisesti mitattu, mutta yleiset havaintomme tukevat käsitystä.

Tarjolla on useita separointimenetelmiä. Kokeessa oli käytössä ruuvipuristin, joka erottaa lietteen fosforipitoisempaan kuivajakeeseen ja typpipitoisempaan nestejakeeseen. Tämä on usein käytetty ja edullinen menetelmä. Suoritettu separointi 0,75 mm:n seulakoolla ja kokeissa käytetyllä puristusvoimalla ei kuitenkaan alentanut nestejakeen fosforipitoisuutta niin alas, että separoitua nestejakeetta voisi käyttää typpilannoitteena. Nestejakeeseen jäi 95 % käsittelyjäännöksen massasta ja 89 % fosforista, jolloin separoinnin oletetut ravinteiden jakautumiseen liittyvät hyödyt jäivät tässä kokeessa saavuttamatta. Tämä johtui ennen kaikkea siitä, että suurin osa käsittelyjäännöksen (ja lietelannan) fosforista on sitoutunut pieniin partikkeleihin, jotka läpäisevät ruuvipuristimen seulan. Kuivajakeetta muodostui 5 % käsittelyjäännöksen massasta. Sen fosforipitoisuus oli kolminkertainen (tosin vaihtelu oli suurta) ja kokonaistyyppi noin kaksinkertainen suhteessa lähtömateriaaliin. Liukoisen typen pitoisuus ei noussut, mutta kuivajakeen lannoitusarvo nousi noin 30 % käsittelyjäännökseen verrattuna, kun se laskettiin liukoisen typen mukaan, ja 80 %, jos se laskettiin kokonaistypen mukaan.

Käytännössä edellä mainitut muutokset vaikuttavat merkittävästi orgaanisten lannoitteiden käyttömääriin. Jos pellon fosforiluokka ei rajoita levitystä, säädetään orgaanisten lannoitteiden levitysmääriä kokonaistypen määrän perusteella (170 kg N/ha/vuosi; nitraattiasetus). Käsittelyjäännöstä voi tällöin levittää noin 7 % enemmän hehtaaria kohden kuin raakalantaa, mikä nostaa samalla liukoisen typen määrää noin 7 %. Separoitua kuivajakeetta saa levittää typpirajoituksen mukaan vain 32 t/ha sen korkean kokonaistypen määrän vuoksi. Jos pellon fosforiluokka on sama kuin kokeessa (P-luokka välttävä), olisi kuivajakeen uusien ympäristökorvausjärjestelmän ehtojen (16 kg P/ha) mukainen sallittu käyttö ohralle vain 11 t/ha ja liukoista tyyppiä tulisi vain 18 kg/ha. Sen sijaan nestejake sopisi hyvin lannoitteeksi, sillä siinä pystyisi antamaan noin 116 kg/ha liukoista tyyppiä nurmelle (satotasokorjausta käyttäen) ja 62 kg/ha liukoista tyyppiä ohralle fosforirajan ylittymättä.



## 4.2. Orgaanisten lannoitteiden satovasteet ja ravinnetaseet ohran viljelyssä

Ohrakokeessa satotaso oli yleisesti keskimääräistä alhaisempi, myös väkilannoitekoejäsenillä. Vaikka kemiallisessa analyysissä ei havaittu eroa raakalannan ja käsittelyjäännöksen liukoisen typen pitoisuudessa, oli käsittelyjäännöksen typen lannoitusvaikutus merkittävästi parempi kuin raakalannan. Itse asiassa käsittelyjäännöksen liukoinen tyyppi oli täysin väkilannoitetyypen veroista, kun taas raakalannan tyyppi vastasi 85-prosenttisesti lannoitetyypeä. Vuoden sääolot vaikuttivat erityisesti käsittelyjäännöksen typen hyväksikäyttöön, mikä laskee selvästi kuivana vuonna 2010. Periaatteessa käsittelyjäännöksen korkeampi pH lisää ammoniakkin haihduntaa raakalantaan verrattuna, mutta kokeessa käsittelyjäännöksen ja raakalanta levitettiin sijoittamalla, mikä yleisesti pienentää levityksen aikaiset haihtumistappiot lähes merkityksettömiksi. Koska käsittelyjäännöksessä ja raakalannassa liukoisen typen pitoisuus oli sama, käsittelyjäännöksen parempi lannoitusvaikutus johtui todennäköisesti sen kokonaistypen nopeammasta muuntumisesta käyttökelpoisempaan muotoon maassa tapahtuvan mikrobiotominnan seurauksena. Kosteus- ja lämpötilaolosuhteet vaikuttavat osaltaan maaperän mikrobiaktiivisuuteen, ja kesällä 2010 esiintynyt kuivuus on voinutkin sitä hidastaa. Käsittelyjäännöksen lannoitusvaikutus oli hyvä, kun se levitettiin mikrobiaktiivisuudelle suotuisammassa olosuhteissa lämpimään maahan (2009) ja kosteina vuosina (2009, 2011).

Sekä raakalantaa että käsittelyjäännöstä käytettäessä ohran jyvien hehtolitrapaino oli sama ja valkuaispitoisuus kutakuinkin sama kuin väkilannoitetyypeä 80 kg/ha käytettäessä, lukuun ottamatta kuivaa vuotta. Sen sijaan jyvien fosforipitoisuus oli aina korkeampi kuin 80 kg/ha väkilannoitetyypillisäyksellä. Sinänsä orgaanisten lannoitteiden väliset erot olivat pieniä.

Ravinnetaseet kertovat ravinteiden hyväksikäytöstä ja myös niiden huuhtoutumisriskistä: mitä positiivisempi on ravinnetase, sitä enemmän maahan jää ravinteita huuhtoutumiselle alttiiksi. Toisaalta negatiivinen ravinnetase kertoo siitä, että maa luovuttaa ravinteita enemmän kuin kasveille on annettu. Orgaanisten lannoitteiden tyypitaseet olivat selvästi (noin nelinkertaisesti) 80 kg/ha väkilannoitetyypillisäystä suuremmat. Tämä johtuu siitä, että väkilannoitus sisältää vain liukoista tyyppiä, mutta orgaanisissa lannoitteissa liukoisen typen osuus on vain noin 50 %. Orgaanisten lannoitteiden kokonaistyyppi ei ehdi vapautua ohran käyttöön sen nopean kasvun vuoksi. Biokaasukäsittelyn edullinen vaikutus typen hyväksikäyttöön näkyy käsittelyjäännöksen raakalantaa pienempänä typen ylijäämänä.

Myös fosforitaseet olivat orgaanisia lannoitteita käytettäessä selvästi suurempia (1,5–2,2 -kertaisia) kuin 80 kg/ha väkilannoitetyypillisäystä käytettäessä. Tämä johtui sekä orgaanisten lannoitteiden sisältämästä korkeammasta fosforipitoisuudesta että osaksi niiden antamasta heikommasta sadosta (pienempi P-poistuma). Biokaasukäsittelyn edullinen vaikutus näkyi siinä, että käsittelyjäännöksen fosforitaseen ylijäämä oli keskimäärin vain 65 % raakalannan fosforiylijäämästä. Ero johtui sekä toisinaan käsittelyjäännöksen suuremmasta sadosta että toisinaan alemmasta fosforilannoituksesta, jotka molemmat tehostivat fosforin käyttöä. Separoidulla kuivajakeella liukoisen typen ja fosforin suhde oli epäedullisin, mikä johti selvästi suurimpaan fosforitaseeseen (P-ylijäämään). Koejäsen, jossa ohra sai ensin kylvön yhteydessä kuivajakeen ja oraille nestejakeen, tiedettiin jo etukäteen epäkäytännölliseksi. Se olikin ravinnetaseiltaan selvästi huonoin, mikä johtui enemmän annettujen ravinteiden ylimäärästä kuin satotason heikkoudesta. Sinänsä nestejake voisi tulla kyseeseen oraiden lannoituksena, joskin typen hävikki ammoniakkin haihtumisena voi olla suuri eikä lohkon fosforiluokka saa olla jo ennakolta korkea. Separoinnin soveltuvuus olisi ollut parempi, jos separoinnin erotuskyky fosforin osalta olisi ollut suurempi.

## 4.3. Orgaanisten lannoitteiden satovasteet ja ravinnetaseet nurmen viljelyssä

Nurmikokeessa orgaaniset lannoitteet levitettiin toiselle sadolle ensimmäisen sadon saadessa väkilannoitetyypeä 100 kg/ha. Toisin kuin ohran, nurmen satotaso oli korkea, mikä vaikuttaa etenkin ravinnetaseiden tuloksiin. Raakalanta ja käsittelyjäännöksen tuottivat määrältään ja rehuarvoltaan sa-

manlaisen sadon. Vuosien sääolojen aiheuttama vaihtelu oli huomattavasti raakalannan ja käsittelyjäännöksen keskinäistä eroa suurempaa. Nestejakeen antaminen nurmen pintaan nopeutti nurmen kehitystä ja tuotti 10–50 % suuremman toisen sadon raakalantaan verrattuna. Ilmiö näkyi korkeampana NDF- ja ligniinipitoisuutena sekä matalampana D-arvona. Tämä johtui sekä siitä, että nestejakeen liukoisen typen annos oli noin kaksinkertainen raakalantaan ja käsittelyjäännökseen verrattuna, ja todennäköisesti myös siitä, että nestejakeen tyyppi oli helposti kasvin käytettävissä.

Orgaanisia lannoitteita käytettäessä sadon kasvu ja kehitys toisessa niitossa oli kaikkina vuosina hieman hitaampaa kuin 90 kg/ha väkilannoitetyypeä käytettäessä. Ero oli suurin kuivana vuonna ja vastaavasti pienin kosteana vuonna. Orgaanisia lannoitteita käytettäessä sadon raakavalkuainen jäi alhaiseksi, mutta toisaalta sadon fosforipitoisuus oli korkea siitäkin huolimatta, että orgaanisten lannoitteiden fosforimäärät jäivät väkilannoitusta vähäisemmiksi (separoitua nestejaetta lukuun ottamatta). Tämä on osoitus siitä, että karjanlantaperäisen fosforin käyttökelpoisuus nurmikasvien kannalta on pelto-olosuhteissa varsin hyvä.

Orgaaniset lannoitteet annettiin toiselle sadolle, mikä on Pohjois-Savon alueella nurmiviljelyssä yleinen käytäntö. Ilmaston ja maalajien vuoksi alueella toinen sato kasvaa varsin hyvin – kuten myös kokeessa – ja myös orgaanisten lannoitteiden ravinteiden hyväksikäyttö on korkea. Seuraavan vuoden ensimmäisessä niitossa ei jälkivaikutusta juurikaan näkynyt lukuun ottamatta raakalannalla lannoitettua nurmea kuivan vuoden jälkeisenä keväänä. Se, että ensimmäinen sato sai pohjalle 96–100 kg/ha väkilannoitetyypeä, peittää tietysti pienimmät erot alleen ja toisaalta tyyppiä on voinut myös huuhtoutua talven aikana. Liukoisen typen hyväksikäyttö raakalantaa tai käsittelyjäännöstä käytettäessä oli vuositasolla 93–95 % ja nestejaetta käytettäessä 100 %. Etenkin kuivana vuonna raakalannan ja käsittelyjäännöksen typen hyväksikäyttö jäi alhaiseksi verrattuna väkilannoitetyyppeen ja nestejakeen tyypeen.

Myös levitystekniikka vaikuttaa suoraan erilaisten orgaanisten lannoitteiden väliseen vertailuun: raakalanta ja käsittelyjäännös sijoitettiin nurmeen ja kuivana vuonna liukoisen typen lannoitusvaikutus oli vain 75 % väkilannoitteen verrattuna. Levitys osui samalla nurmen ensimmäiseen satovuoteen, jolloin nurmen juuristo oli arimmillaan. Sen sijaan nestejake annettiin nurmen pintaan. Hyvästä imeytymisestä huolimatta voidaan olettaa, että osa tyypestä haihtui ammoniakkinä, vaikka kokonaisuutena nestejakeen liukoisen typen hyväksikäyttö oli näennäisesti sama kuin väkilannoitetyypen. Todennäköinen syy tähän on sen kokonaistypen mineralisoituminen nurmen sadonmuodostuksen aikana (6–8 vko).

Nurmen ravinnetaseiden keskeinen piirre oli se, että ne olivat yleisesti voimakkaan negatiivisia ensimmäisessä niitossa, jossa kaikki koejäsenet saivat 100 kg/ha väkilannoitetyypeä, eikä eroja havaittu eri orgaanisten lannoitteiden välillä. Toisessa sadossa typpi-, fosfori- ja kaliumtaseet olivat sitä vastoin osin positiivisia ja koejäsenten väliset erot olivat merkittäviä sekä poistuman että taseiden osalta. Raakalannan ja käsittelyjäännöksen ero toisen niiton ravinnetaseissa johtui enemmän annettujen ravinteiden määrästä kuin satotason muutoksista.

Vuositaseet ovat kuitenkin systeemitasolla merkittävämmät kuin niitokohtaiset taseet. Huomattavaa on, että raakalannan ja käsittelyjäännöksen typen ja fosforin vuositaseet olivat negatiivisia kaikkina vuosina ja koko viljelykierrolle laskettuna, lukuun ottamatta tyyppiä kuivana vuonna 2010. Nestejakeen tyyppitase oli selvästi positiivinen, jonka vuoksi nestejakeen levittäminen peräkkäisinä vuosina samalle lohkolle ei ole suotavaa, koska se lisää typen huuhtoutumisriskiä oleellisesti. Sinänsä viljelymenetelmätasolla orgaanisten lannoitteiden ravinnetaseet olivat usein jopa parempia kuin suosittujen mukaan väkilannoitteella lannoitetun verranteen (90 kg N/ha), ja ero johtui vain osittain niiden saamasta alemmasta lannoitusmäärästä.

#### 4.4. Ravinteiden hyväksikäyttö ja muutokset maaperässä

Maaperätutkimuksen tärkeimmät kysymykset liittyvät kasvukauden lopussa mitattujen maan viljavuusfosforin ja liukoisen typen pitoisuuksien muutoksiin. Muutokset olivat erilaisia ohran ja nurmen viljelyssä.

Nurmi- ja ohrakoheet sijaitsivat samalla peltolohkolla, mutta koealueet olivat hieman erilaisia, etenkin maan orgaanisen aineen ja kokonaistypen pitoisuuksien osalta. Lisäksi ohrakokeen paikka jouduttiin muuttamaan kerran kokeen aikana, minkä vuoksi kumulatiivisia vaikutuksia ei voitu seurata kunnolla. Näistä syistä havaittuihin kasvilajien välisiin eroihin tulee suhtautua tietyllä varovaisuudella ja tässä käsitelläänkin vain kaikkein ilmeisimmät erot.

Ohran ja nurmen tuotannon sekä lannoitteiden välisiä eroja havainnollistetaan kuvassa 27. Ohran fosforin näennäinen hyväksikäyttö on yleisesti huomattavasti nurmea huonompi riippumatta lannoitteista ja eri lannoitteiden väliset erot ovat pienemmät (kuva 27a, b). Käsittelyjäännöksen fosforin hyväksikäyttö oli etenkin nurmikokeessa selvästi parempi kuin raakalannan, ja separoitujen jakeiden oli huonoin. Osan eroista selittää se, että mitä korkeampi on ollut lannoitteissa annettu fosforin määrä, sitä huonompi on ollut sen hyväksikäyttö. Sen sijaan lannoitteissa annettu typen määrä ei selitä eroja fosforin hyväksikäytössä eri orgaanisten lannoitteiden osalta (Kuva 27c, d).

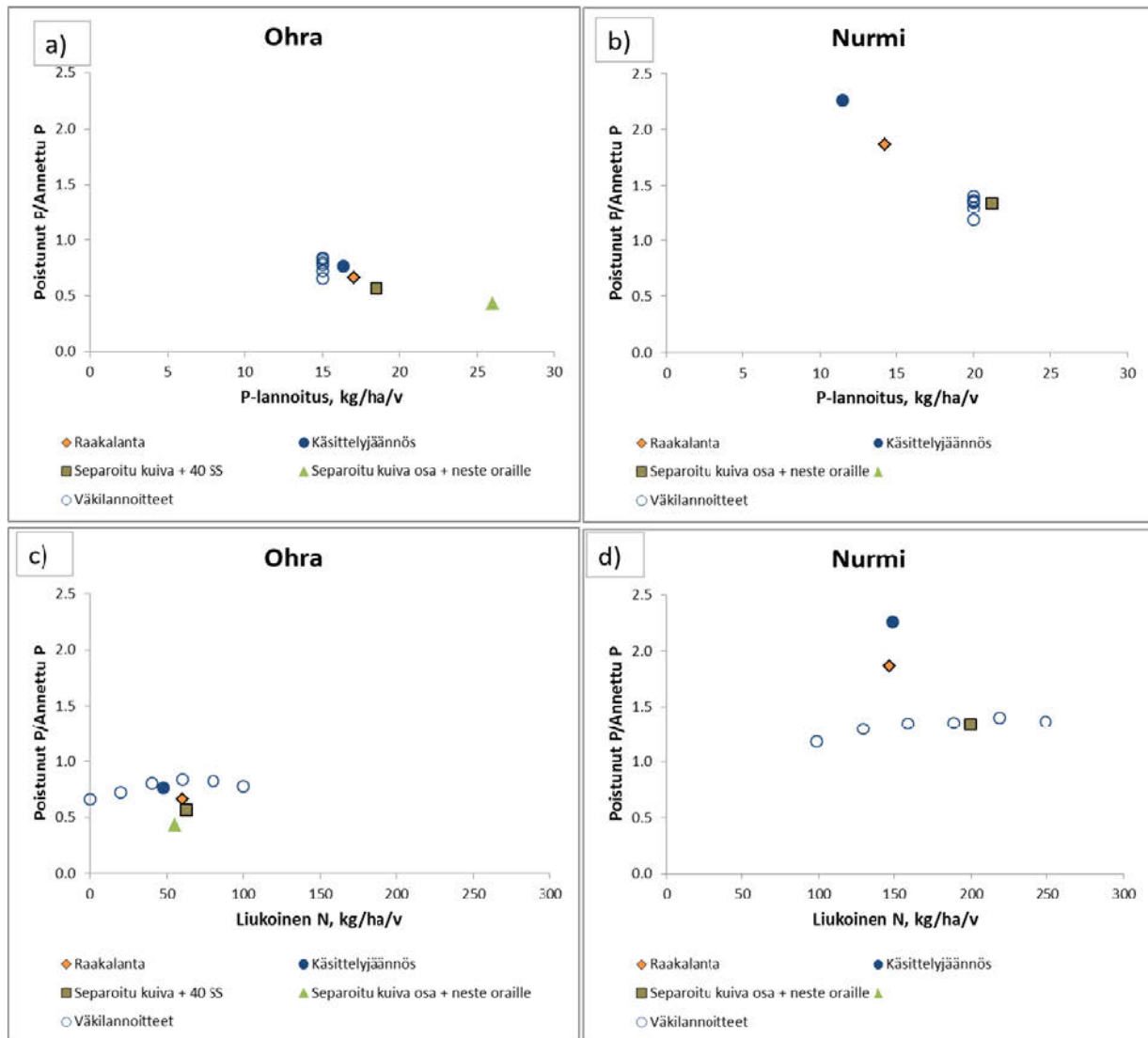
Yli vuosien tarkasteltuna käsittelyjäännös toimi ohralla kokonaisuutena eri tavoin kuin raakalanta: se tuotti suuremman sadon, mutta jyvien fosforipitoisuus oli samaa tasoa kuin raakalannalla, joten käsittelyjäännöksen fosforisato oli suurempi ja fosforin ylijäämä vastaavasti selvästi pienempi kuin raakalantaa käytettäessä. Tästä huolimatta käsittelyjäännöksen käyttö näytti systemaattisesti nostavan maan viljavuusfosforin pitoisuutta hienoisesti enemmän kuin raakalannan käyttö (ero 1,4 mg/l). Eroa lisäsi poikkeuksellinen vuosi 2009, jolloin käsittelyjäännös ja raakalanta olivat peräisin eri paikasta kuin muina vuosina.

Nurmen osalta raakalannan ja käsittelyjäännöksen välinen ero ei ollut niin selvä kuin ohralla vaan yli vuosien tarkasteltuna raakalannan ja käsittelyjäännöksen tuottamat kuiva-ainesadot olivat yhtä suuria. Raakalannan sadon fosforipitoisuus ja -poistuma olivat 3–4 % suurempia kuin käsittelyjäännöksen, mutta koska raakalantaa käytettäessä peltoon annettiin 20 % enemmän fosforia, oli käsittelyjäännöksen näennäinen fosforin hyväksikäyttö 21 % parempi (Kuva 27b).

Tulosten kokonaisuus viittaa siihen, että käsittelyjäännöksen fosfori oli paremmin ohran käytävissä kuin raakalannan fosfori. Osin tätä selittää käsittelyjäännöksen raakalantaa parempi typen hyväksikäyttö, mutta kuten aiemmissa fosforin liukoisuustutkimuksissa on osoitettu, biokaasuprosessi lisää hieman myös kasveille käyttökelpoisen fosforin osuutta, minkä seurauksena fosforin käyttökelpoisuus kasvinravinteena voi jonkin verran parantua.

Sen lisäksi, että ohra otti käsittelyjäännöksen fosforia tehokkaammin kuin raakalannan fosforia, käsittelyjäännöksen käyttö nosti maan fosforilukua enemmän kuin raakalanta. Nurmella ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä, mikä todennäköisesti johtuu nurmen suuresta fosforin otosta. Yksi mahdollinen selitys on myös se, että biokaasuprosessi vaikuttaa hajoavan ja hajoamatta jääneen orgaanisen aineen koostumukseen, mikä heijastunee myös fosforin sitoutumisreaktioihin maassa (mm. käsittelyjäännöksen orgaanisten happojen anionien tai muiden fosforin kanssa pidätyspaikoista kilpailevien yhdisteiden pitoisuudet). Osin voi olla kysymys myös lisäsyötteiden vaikutuksesta lannan fosforipitoisuuteen ja ominaisuuksiin, mutta ainakaan lisäsyötteiden käyttö ei nostanut käsittelyjäännöksen fosforipitoisuutta suhteessa raakalantaan.

Tässä kokeessa sekä raakalanta että käsittelyjäännös sijoitettiin maahan ennen ohran kylvöä ja oraille annettu nestefraktio levitettiin maan pintaan. Koejäsenten ero maan pintakerroksen fosforipitoisuudessa - joka on fosforihuuhtouman tärkeimpiä indikaattoreita - oli merkittävä vain yhtenä vuonna kolmesta. Kun tarkastellaan fosforipitoisuuksia eri maakerroksissa, sijoituksen hyöty ei näkynyt tässä kokeessa erityisen hyvin toisin kuin aiemmin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa. Maan viljavuusfosforin pitoisuus aleni hienoisesti 0–2 cm:n kerroksesta 10–25 cm:n kerrokseen mentäessä (eikä sijoitussyvytydessä ollut havaittavissa sijoittamisen aiheuttamia korkeampia fosforipitoisuuksia).

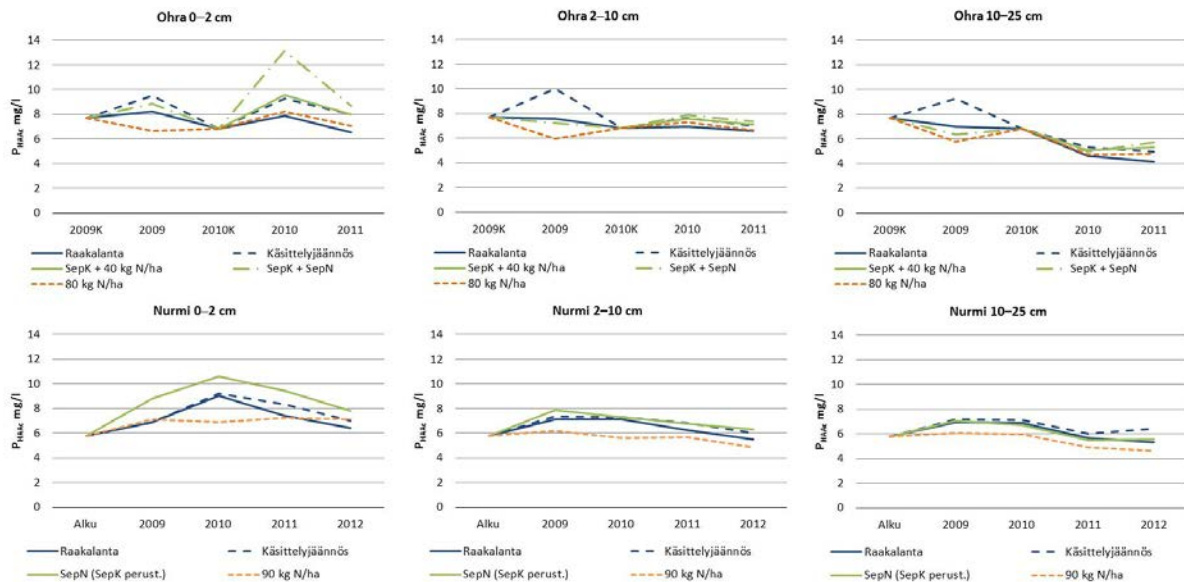


**Kuva 27.** Fosforin näennäinen hyväksikäyttö käytettäessä orgaanisia lannoitteita ja väkilannoitteita fosforilannoituksen (a, b) että typpilannoituksen (c, d) funktiona ohra- (a, c) ja nurmikokeessa (b, d) 2009–2012.

Nurmiruuduilla näkyi koevuosien aikana lievää fosforin kertymistä pintamaahan, kun taas ohra-kokeella maan muokkaaminen vähensi oletetusti sen kertymistä (Kuva 28). Vaikka orgaanisten lannoitteiden sijoitusvyvyys oli molemmissa kokeissa sama, on mahdollista, että vantaat ovat tunkeutuneet helpommin muokattuun maahan, minkä seurauksena sijoitusvyvyys on ollutkin ohra- ja nurmiruuduilla hieman erilainen.

Orgaanisia lannoitteita saaneilla koejäsenillä nurmiruutujen muokkauskerroksen keskimääräinen viljavuusfosforipitoisuus oli hieman korkeampi kuin väkilannoitteita saaneilla koejäsenillä, kun fosforipitoisuuksia tarkastellaan koejäsenkohtaisesti yli vuosien. Koevuosien 2009–2012 aikana muokkauskerroksen viljavuusfosforin pitoisuudet alenivat kuitenkin kaikilla koejäsenillä keskimäärin 1,2 mg/l maata. Tämä kertoo siitä, etteivät orgaaniset lannoitteet lähtökohtaisesti nosta maan fosforipitoisuutta ja ole siten ympäristöriski sillä edellytyksellä, että nurmen sato on korkea ja että liete sijoitetaan. Ohran tapauksessa sato oli matala, mutta maan fosforipitoisuus ei noussut hälyttävästi missään maakerroksessa. Selvimmin pintakerroksen fosforilukua nosti separoitu kuivajae perustettaessa ja nestejaje nurmivuosina -yhdistelmä, jossa fosforia tulikin muita enemmän. Muiden orgaanisten lannoitteiden väliset erot jäivät merkityksettömiksi. Nurmiruuduilla sijoitusvyvyys jäi ilmeisesti matalaksi, mikä kertoo siitä, että vantaiden muoto ja tekniikka suhteessa levitysmäärään ovat merkittäviä tekijöitä, joihin tulee jatkossa kiinnittää huomiota korkean fosforikuormituksen lohkoilla. Tässäkin kokeessa voidaan epäillä nuoren nurmen voittuneen sijoituksesta. Lohkon maalaji oli hiuesavea, ja

sijoituksen aiheuttamat vahingot voivatkin olla suuremmat kuin aiemmin hietamailla tehdyissä koikeissa. Aihe on Suomen karjatilojen kannalta tärkeä ja jatkossa selvitetäänkin sijoittamisen aiheuttamia vahinkoja suhteessa sijoittamisen aiheuttamaan typen tehokkuuden parantumiseen.



**Kuva 28.** Viljavuusfosforin pitoisuudet (mg/l maata) 0–2, 2–10 ja 10–25 cm:n maakerroksissa ohras- ja nurmikoikeissa 2009–2012.

#### 4.5. Maan typifraktiot

Syys-lokakuun vaihteessa otetuista maanäytteistä määritetyt liukoisten typpifraktioiden pitoisuudet riippuivat merkittävästi viljelykasvista (Kuva 29). Kummallakin kasvilla liukoista kokonaistyppeä löytyi syksyllä noin 40 kg/ha, mutta siihen yhtenevyydet loppuvatkin. Ohrakokeessa liukoinen typpi muodostui pääosin nitraattitypestä (50–80 %) ja liukoisesta orgaanisesta tyypestä (15–60 %). Kuten jo osuuskien vaihteluvälistä nähdään, oli vuosivaihtelu varsin suuri ja suurimmillaan nitraattityppipitoisuus oli odotetusti kuivan vuoden 2010 jälkeen. Vastaavasti silloin liukoisen orgaanisen typen (SON) pitoisuudet olivat pienimmillään.

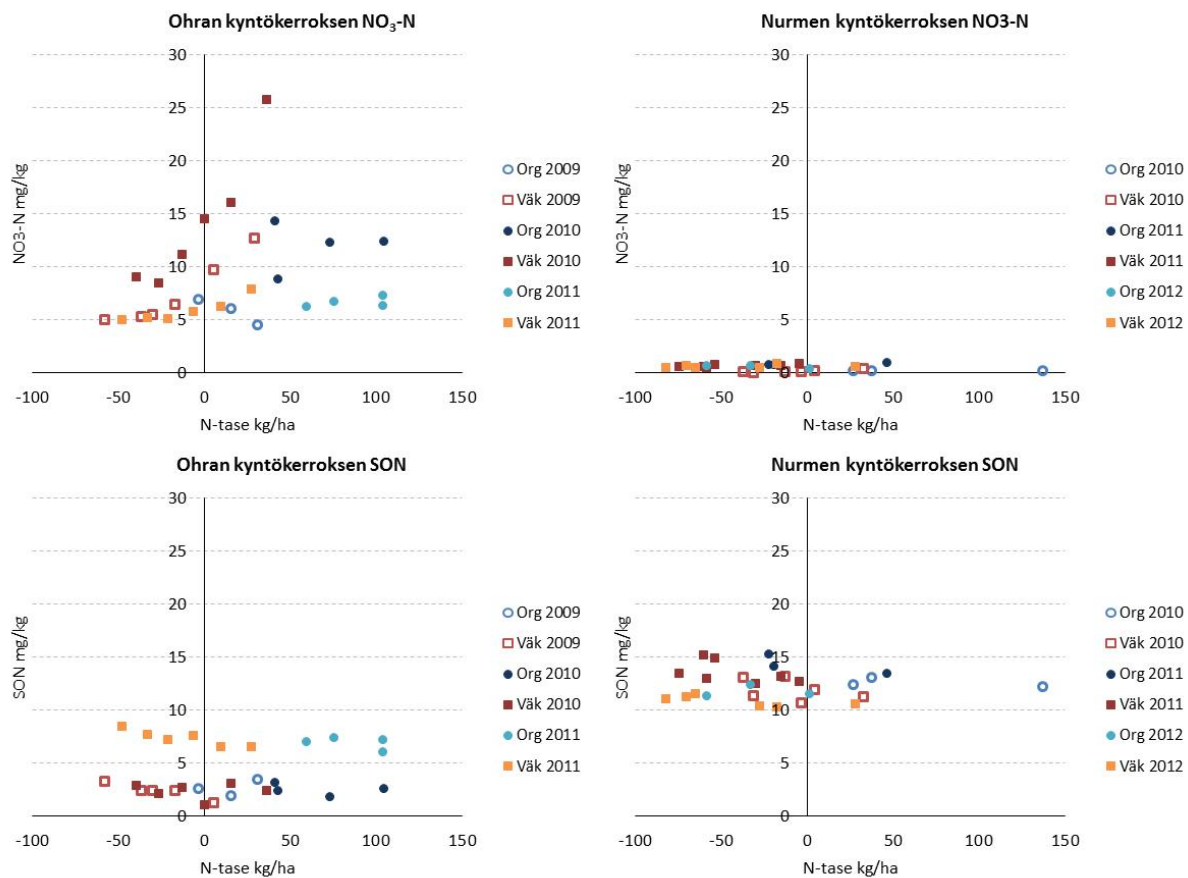
Nurmi - kun puhutaan nurmivuosista - poikkesi oleellisesti ohrasta: nurmikokeessa liukoinen orgaaninen typpi oli ylivoimaisesti tärkein liukoisen typen komponentti 81–85 %:n osuudellaan. Vastaavasti nitraattitypen osuus oli varsin pieni 1–4 %. Toisin kuin ohrakokeessa vuosivaihtelu oli hyvin pientä. Koska liukoinen orgaaninen typpi muodosti näin suuren osuuden liukoisesta kokonaistypestä, on se olennainen typen komponentti, joka kannattaa analysoida silloin, kun kartoitetaan nurmenviljelyn typpikiertoa. Nitraattitypen alhainen pitoisuus on havaittu myös muissa nurmikokeissa silloin, kun näytteenotto tapahtuu ennen pakkasia. Yöpakkasten jälkeen määritetyt nitraattipitoisuudet voivat hetkellisesti olla huomattavasti korkeampia.

Orgaanisten lannoitteiden välisiä eroja havaittiin vain kuivana vuonna 2010 ohrakokeessa, jolloin käsittelyjäännöksen käyttäminen nosti syksyisen nitraattitypen pitoisuutta raakalantaan verrattuna, mikä viittaa edelleen siihen, että käsittelyjäännöksen typpi on helpommin mineralisoituvassa muodossa kuin raakalannan. Nurmikokeessa tämä näkyi tendenssinä niin, että raakalannan käytön jälkeen liukoisen kokonaistypen ja ammoniumtypen pitoisuudet olivat tyypillisesti korkeammat kuin käsittelyjäännöksen jälkeen.

Kuiva vuosi 2010 erottui ohrakokeessa selvästi korkeampina syksyn nitraattitypen pitoisuuksina maassa. Nurmella vuosi ei poikennut maanäytteiden typpipitoisuuksien osalta muista vuosista, mikä johtui siitä, että elokuun ja syyskuun sademäärät olivat tavanomaiset ja nurmi pystyi käyttämään

vapautuneen typen. Tämän kaltaisissa tilanteissa nurmen koko kasvukauden ajan kestävä ravinteidenotto on eduksi.

Typen ravinnetaseiden mukaan orgaanisia lannoitteita käytettäessä typen huuhtoutumispotentiaali on suurempi kuin väkilannoitteita käytettäessä. Maanäytteiden mukaan näin ei ollut ja ohrakokeessa korkeimmat nitraattitypen pitoisuudet määritettiin väkilannoituskojejäseniltä kuivan vuoden syksyllä (maksimi 45 mg/kg). Merkillepantavaa on, että ohrakokeessa muokkauskerrokselle suurin määritetty nitraattitypen pitoisuus oli 26 mg/kg ja nurmikokeessa 1 mg/kg, mikä kuvastaa nurmen typenoton jatkumista syksyllä. Syksyinen nurmikasvusto kahden niiton systeemissä voi olla varsin tuuheaa, mikä sitoo itseensä myös merkittävän määrän typpeä ja fosforia, mutta tästä osa voi huuhtoutua kevään sulamisvesien mukana.



**Kuva 29.** Viljelyn tyyppitaseen ja syksyllä havaitun kyntökerroksen nitraattitypen (NO<sub>3</sub>-N) ja liukoisen orgaanisen typen (SON) yhteys ohrakokeessa 2009–2011 ja nurmikokeessa 2010–2012 käytettäessä orgaanisia lannoitteita (Org) tai väkilannoitteita (Väk). Kokeet olivat erilliset ja nurmikokeesta kuvassa ovat vain nurmikoevuodet.

Karjanlantaa ja muita orgaanisia lannoitteita tutkittaessa johtopäätelmiä vaikeuttaa aina se, että orgaaniset lannoitteet sisältävät useita ravinteita. Niinpä aina ei voida olla täysin varmoja, että havaitut vaikutukset kertovat juuri tyyppistä tai fosforista. Johtopäätöksiä auttaa kuitenkin tieto siitä, että tyyppilannoituksen vaikutus nurmen ja ohran satoon on moninkertainen muihin ravinteisiin verrattuna. Koelohkon fosforitilan perusteella myös fosfori on teoriassa nostanut satoa, mutta sen satoa nostava vaikutus on oleellisesti pienempi kuin typen. Nurmen kannalta tässä kokeessa oleellisia ovat myös kalium ja rikki, joista etenkin kaliumin vaikutus satoon on varsin suuri silloin, kun maan kaliumtase on huono. Huomionarvoista tässä kokeessa oli, ettei karjanlannan kalium pystynyt mitenkään korvaamaan nurmen ottamaa kaliumia: kaikkien kojejäsenten kumulatiivinen kaliumtase oli kokeen

aikana 440 kg/ha negatiivinen, vaikka maan viljavuuskalium oli luokassa välttävä. Tämä tukee uusia tutkimustuloksia, joiden mukaan maan reservikalium kuvaa paremmin nurmen kaliumin ottoa kuin viljavuuskalium.

#### 4.5. Biokaasuprosessin vaikutukset naudän lietelannan ominaisuuksiin

- Käsittelyjäännöksen typen käyttökelpoisuus nousi raakalantaan verrattuna ohranviljelyssä, vaikka lieteanalyysissä liukoisen typen pitoisuus ei noussut ja liukoisen typen osuuden nousua ei voitu osoittaa. Käsittelyjäännöksen liukoinen tyyppi oli ohran lannoitteena täysin väkilannoitetyypen veroista, kun raakalannan tyyppi vastasi 85-prosenttisesti väkilannoitetyypeä. Nurmenviljelyssä raakalannan ja käsittelyjäännöksen typen käyttökelpoisuus oli samaa tasoa.
- Käsittelyjäännöksen fosforin käyttökelpoisuus oli korkeampi kuin raakalannan sekä ohran että nurmenviljelyssä.
- Biokaasukäsittelyn edullinen vaikutus typen ja fosforin hyväksikäyttöön näkyi käsittelyjäännöksen raakalantaa pienempänä typen ja fosforin ylijäämänä.
- Käsittelyjäännös oli tasalaatuisempaa ja juoksevampaa kuin raakalanta ja sen ravinnepitoisuuden vaihtelu oli pienempää kuin raakalannan.
- Käsittelyjäännös koettiin teknisesti raakalantaa helpompikäyttöiseksi ja sen hajuhaitat vähäisemmiksi.
- Käsittelyjäännöksen pH oli korkeampi kuin raakalannan, mutta tällä ei ollut vaikutusta maan pH-arvoon.
- Riippumatta siitä, rajoittaako lannan levitystä kokonaistyyppi (nitraattiasetus) vai pellon fosforiluokka, pystyy käsittelyjäännöstä käyttämällä levittämään kerta-annoksena hieman (7 %) enemmän liukoista tyyppiä hehtaarille.

## Kirjallisuus

- Al Seadi, T. (toim.) 2008. Biogas handbook. University of Southern Denmark. [http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Biogas\\_handbook.pdf](http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Biogas_handbook.pdf)
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, VA. 1298 p. ISBN 0-935584-42-0
- Baxter, S.J. & Oliver, M.A. 2003. A geostatistical analysis of the spatial variation of soil mineral nitrogen and potentially available nitrogen within an arable field. *Precision Agriculture* 4: 213–226.
- Bhogal, A., Murphy, D.V., Fortune, S., Shepherd, M.A., Hatch, D.J., Jarvis, S.C., Gaunt, J.L. & Goulding, K.W.T. 2000. Distribution of nitrogen pools in the soil profile of undisturbed and reseeded grasslands. *Biology and Fertility of Soils* 30: 356–362.
- Chang, A.C. & Rible, J.M. 1975. Particle size distribution of livestock wastes. In proceedings of the third inter symposium on livestock wastes. ASAE; 1975.
- Christensen, M.L. & Sommer, S.G. 2013. Manure characterization and inorganic chemistry. s. 41–65. Julkaisussa: Sommer, S.G., Christensen, M.L., Schmig, T. & Jensen, L.S. (toim.). Animal manure recycling. Treatment and management. John Wiley & Sons Ltd. 364 s.
- de Boer, H. C. 2008. Co-digestion of animal slurry can increase short-term nitrogen recovery by crops. *Journal of Environmental Quality* 37: 1968–1973.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agraria Fennica* 122: 1–122.
- Eriksen, J. 2002. Organic manures as sources of fertilizer sulphur. The International Fertiliser Society at a Conference in Cambridge, on 16–17 December 2002. *Proceedings* 505. 19 s.
- Eriksen, J., Mortensen, J.V., Kjellerup, V.K. & Kristjansen, O. 1995. Forms and plant-availability of sulfur in cattle and pig slurry. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 158: 113–116.
- Frost, P. & Gilkinson, S. 2011. 27 months performance summary for anaerobic digestion of dairy cow slurry at AFBI Hillsborough. Interim technical report.
- Gilkinson S. & Frost P. 2007. Evaluation of mechanical separation of pig and cattle slurries by a decanting centrifuge and a brushed screen separator. Main report. Agri-Food and Biosciences Institute, Hillsborough, Northern Ireland. <https://www.afbini.gov.uk/sites/afbini.gov.uk/files/publications/%5Bcurrent-domain%3Amachine-name%5D/Slurry%20Separator%20Full%20Report.pdf>
- Goberna, M., Podmirseg, S.M., Waldhuber, S., Knapp, B.A., García, C. & Insam, H. 2011. Pathogenic bacteria and mineral N in soils following the land spreading of biogas digestates and fresh manure. *Applied Soil Ecology* 49: 18–25.
- Hartikainen, H. 2004. Fosfori ja pellon vesitalous. s. 50–58. Julkaisussa: Työtä, tietoa ja tutkimusta: Salaojituksen Tukisäätiö 1984–2004. Salaojituksen Tukisäätiö. Helsinki. 135 s.
- Hartikainen, H. 2009a. Maalajit. s. 23–30. Teoksessa: Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (toim.). Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö. Salaojayhdistys ry. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 452 s.
- Hartikainen, H. 2009b. Maaperän reaktiot. s. 114–139. Teoksessa: Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (toim.). Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö. Salaojayhdistys ry. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 452 s.
- Haynes, R.J. & Mokolobate, M.S. 2001. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: A critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59: 47–63.
- He, Z., Griffin, T. S. & Honeycutt, C. W. 2004. Phosphorus distribution in dairy manures. *Journal of Environmental Quality* 33: 1528–1534.
- Hjorth, M. 2009. Flocculation and solid-liquid separation of animal slurry; fundamentals, control and application. PhD thesis. Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University / Institute of Chemical Engineering, Biotechnology and Environmental Technology, University of Southern Denmark.
- Hjorth, M. Christensen, K.V., Christensen, M.L., Sommer, S.G. 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 153–180.
- Huang, C-Y.L. & Schulte, E.E. 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 16: 943–958.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15 (3): 293–323.



- livonen, S., Tontti, T. & Nykänen, A. 2013. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen hyödyntäminen vehnän ja rypsin lannoitteena. Julkaisussa: Energiaomavarainen maatalo. Helsingin yliopiston Ruralia-instituutin Julkaisuja 29. s. 41-59. <http://www.helsinki.fi/ruralia/julkaisut/pdf/Julkaisuja29.pdf>
- Jensen, L.S. & Sommer, S.G. 2013. Manure organic matter – Characteristics and microbial transformations. s. 67–90. Julkaisussa: Sommer, S.G., Christensen, M.L., Schmidt, T. & Jensen, L.S. (toim.). Animal manure recycling. Treatment and management. John Wiley & Sons Ltd. UK. 364 s.
- Jiao, Y., Whalen, J.K. & Hendershot, W.H. 2007. Phosphate sorption and release in a sandy-loam soil as influenced by fertilizer sources. *Soil Science Society of America Journal* 71: 118–124.
- Joki-Tokola, E., Salo, T., Mattila, P., Esala, M. & Isoahti, M. 2002. Naudan lietalanta nurmen suoja- kasvin lannoitteena. S. 11–30. Julkaisussa: Mattila, P. (toim.). Lietalannan käyttö nurmikierrossa. Maa- ja elintarviketalous 15. 80 s., 5 liitettä.
- Jones, D.L., Shannon, D., Murphy, D.V. & Farrar, J. 2004. Role of dissolved organic nitrogen (DON) in soil N cycling in grassland soils. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 749–756.
- Järvenranta, K., Rätty, M. & Virkajärvi, P. 2014a. Vähentääkö rauta- ja alumiinisulfaatti liukoisen fosforin huuhtoutumista korkean fosforitilan mailta? Testaus pintavaluntasimulaattorin (SIMU) avulla. Julkaisussa: Hakojärvi, M. & Schulman, N. (toim.). Maataloustieteen Päivät 2014, 8.-9.1.2014 Viikki, Helsinki : esitelmät ja posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 30: [7 s.].
- Järvenranta, K., Virkajärvi, P. & Heinonen-Tanski, H. 2014b. The flows and balances of P, K, Ca and Mg on intensively managed Boreal high input grass and low input grass-clover pastures. *Agricultural and Food Science* 23: 106–117.
- Kapuinen, P., Perälä, P. & Regina, K. 2008a. Mädätyksen vaikutus naudan lietalannan lannoitusominaisuuksiin nurmella. Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2008, 10.-11.1.2008 [ : esitelmät ja posterit] / Toim. Anneli Hopponen. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 23: 7 s.
- Kapuinen, P., Perälä, P., Regina, K. 2008b. Mädätyksen vaikutus sian lietalannan lannoitusominaisuuksiin ohralla. Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2008, 10.-11.1.2008 [ : esitelmät ja posterit] / Toim. Anneli Hopponen. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 23. 7 s.
- Kemppainen, E. 1989. Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. *Annales Agriculturae Fenniae* 28 (3): 163–284. *Seria Agrogeologia et -Chimica*. Dissertation, University of Helsinki, Helsinki.
- Kemppainen, E. 1992. Karjanlanta ja muut eloperäiset lannoitteet. s. 255–294. Julkaisussa: Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E. (toim.). Maa, viljely ja ympäristö. Werner Söderström Osakeyhtiö, Helsinki. 334 s.
- Keskinen, R. 2005. Avomaakurkun (*Cucumis sativus* 'Carine') jaettu typpilannoitus ja maan mineraalitiypen seuranta. Pro gradu -tutkielma. Maanviljelyskemia ja -fysiikka, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, Helsingin yliopisto.
- Kykkänen, S., Hyrkäs, M., Sairanen, A., Virkajärvi, P., Toivakka, M., Suomela, R. ja Isoahti, M. 2016. Nurmen korjuustrategiat. Teoksessa: KESTO maidontuotanto – loppuraportti (käsikirjoitus)
- Kähäri, J. & Nissinen, H. 1978. The mineral element contents of timothy (*Phleum pratense* L.) in Finland. I. The elements calcium, magnesium, phosphorus, potassium, chromium, cobalt, copper, iron, manganese, sodium and zinc. *Acta Agriculturae Scandinavica. Supplementum* 20: 26–39.
- Laine, Antti, Högnäsbacka, Merja, Kujala, Marja, Niskanen, Markku, Jauhainen, Lauri, Nikander, Hannele. 2014. [Virallisten lajikekokeiden tulokset 2006 - 2013](#). MTT Raportti 128: 238 p.
- Laukkanen, Heikki. 2012. Mädatteen levitysmenetelmien erot ja vaikutus säilörehun rehuarvoihin ja satotasoon. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. 51 sivua.
- Luostarinen, S., Paavola, T., Ervasti, S., Sipilä, I. & Rintala, J. 2011. Lannan ja muun eloperäisen materiaalin käsittelyteknologiat. MTT Raportti 27. 64 s.
- Luostarinen, S. & Pyykkönen, V. 2013. Biokaasuteknologian perusteet. s. 10–20. Julkaisussa: Luostarinen, S. (toim.) Biokaasuteknologiaa maataloilla 1: Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi - käytännön kokemuksia MTT:n maatalakohtaiselta laitokselta. MTT Raportti 113. 97 s.
- Ma, B.L. & Dwyer, L.M. 1999. Within plot variability in available soil mineral nitrogen in relation to leaf greenness and yield. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30: 1919–1928.
- Mattila, P.K. & Joki-Tokola, E. 2003. Effect of treatment and application technique of cattle slurry on its utilization by ley: I. Slurry properties and ammonia volatilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65: 221–230.
- Matzner, E. & Borken, W. 2008. Do freeze-thaw events enhance C and N losses from soils of different ecosystems? A review. *European Journal of Soil Science* 59: 274–284.
- Mavi 2009. Opas ympäristötukiehtojen mukaiseen lannoitukseen 2007–2013.

- Mavi 2015. Ympäristökorvauksen sitoumusehdot 2015. Maaseutuvirasto, Seinäjoki. Saatavissa: <http://maaseutuvirasto.mobiezone.fi/zine/82/pdf>
- Messiga, J.A., Ziadi, N., Jouany, C., Virkajärvi, P., Suomela, R., Sinaj, S., Bélanger, G., Stroia, C. & Morel, C. 2015. Soil test phosphorus and cumulative phosphorus budgets in fertilized grassland. *Ambio* 44(Suppl. 2): S252–S262.
- Meyer, D., Ristow, P.L. & Lie, M. 2007. Particle size and nutrient distribution in fresh dairy manure. *Applied Engineering in Agriculture* 23: 113–117.
- Murphy, D.V., Macdonald, A.J., Stockdale, E.A., Goulding, K.W.T., Fortune, S., Gaunt, J.L., Poulton, P.R., Wakefield, J.A., Webster, C.P. & Wilmer, W.S. 2000. Soluble organic nitrogen in agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils* 30: 374–387.
- Murphy, D.V., Stockdale, E.A., Poulton, P.R., Willison, T.W. & Goulding, K.W.T. 2007. Seasonal dynamics of carbon and nitrogen pools and fluxes under continuous arable and ley-arable rotations in a temperate environment. *European Journal of Soil Science* 58: 1410–1424.
- Mustonen, A. 2013. Seitsemän lihavaa vuotta – vieläkö nurmen fosforilannoituksesta voidaan tinkiä? Pro gradu -tutkielma. Kasvinviljelytiede, Maataloustieteiden laitos, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. 81 s., 5 liitesivua.
- Muukkonen, P., Hartikainen, H., Lahti, K., Särkelä, A., Puustinen, M. & Alakukku, L. 2007. Influence of no-tillage on the distribution and lability of phosphorus in Finnish clay soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120: 299–306.
- Möller, K. & Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences* 12: 242–257.
- Möller, K., Stinner, W., Deuker, A. & Leithold, G. 2008. Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on nitrogen cycle and crop yield in mixed organic dairy farming systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 82: 209–232.
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P. 2003. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Animal Feed Science and Technology* 103: 97–111.
- Partanen, T. 2012. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen käyttö ohran lannoitteena. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Luonnonvara- ja ympäristöala. 38 s.
- Paasonen-Kivekäs, M. 2009. Typpi. s. 175–188. Julkaisussa: Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (toim.). Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö. Sala-ojayhdistys ry. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. 452 s.
- Paavola, T., Isotalo, M. & Luostarinen, S. 2015. Näin saadaan sikalietteen fosfori tehokkaasti erilleen. Maaseudun tulevaisuus 12.10.2015. Liite: Maaseudun tiede 3/2015. s. 6. [https://issuu.com/mttelo/docs/maaseudun\\_tiede\\_3\\_15](https://issuu.com/mttelo/docs/maaseudun_tiede_3_15)
- Pyykkönen, V., Luostarinen, S. & Rintala, J. (2013). Maatilamittakaavan biokaasukokeiden tulokset. s. 39 – 62. Julkaisussa: Luostarinen, S. (toim.) Biokaasuteknologiaa maataloilla 1: Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi - käytännön kokemuksia MTT:n maatalakohtaiselta laitokselta. MTT Raportti 113. 97 s.
- Regina, K., Kapuinen, P. & Perälä, P. 2007. Biokaasuteknologia maataloudessa – Energiantuotanto, prosessiteknologia, hygienia- ja ympäristövaikutukset. Osahanke: Mädätysjäännöksen käyttö lannoitteena ja siitä aiheutuvat kaasupäästöt. Loppuraportti 27.3.2007. 33 s.
- Rubæk, G. H., Henriksen, K., Petersen, J., Rasmussen, B. & Sommer, S. G. 1996. Effects of application technique and anaerobic digestion on gaseous nitrogen loss from animal slurry applied to ryegrass (*Lolium perenne*). *Journal of Agricultural Science* 126: 481–492.
- Räty, M., Järvenranta, K., Hyrkäs, M. & Virkajärvi, P. 2015a. Niittoajankohdan vaikutus fosforin huuhtoutumiseen. s. 92–93. Julkaisussa: Leppälampi-Kujansuu, J., Pennanen, T., Rankinen, K., Salo, T., Soinne, Hänninen, P. (toim.). Maaperä – maapallon elävä iho. VIII Maaperätieteiden päivien abstraktit. Pro Terra No. 67/2015.
- Räty, M., Uusi-Kämppeä, J., Yli-Halla, M., Rasa, K. & Pietola, L. 2010. Phosphorus and nitrogen cycles in the vegetation of differently managed buffer zones. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86: 121–132.
- Räty, M., Virkajärvi, P. & Järvenranta, K. 2015b. Syksyllä nurmelle sijoittamalla levitetyn lietelannan vaikutus satoon ja ravinnehuuhtoumiin. s. 43–52. Julkaisussa: Ruokojärvi, A. (toim.). Ravinnehävikit euroiksi RAE-hankkeen (2011–2015) loppuraportti. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D4/2/2015. 88 s., liitesivut.
- Saarela, I. & Vuorinen, M. 2010. Stratification of soil phosphorus, pH, and macro-cations under intensively cropped grass ley. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86: 367–381.

- Saarijärvi, K., Karppinen, M., Uusi-Kämppe, J., Turtola, E. & Virkajärvi, P. 2006a. Laitumen fosforitalous ja vesistökuormituksen hallinta. s. 23–33. Teoksessa: Alakukku, L. (toim.). Maaperän prosessit – pellon kunnan ja ympäristöhoidon perusta. Maa- ja elintarviketalous 82. 128 s.
- Saarijärvi, K., Karppinen, M. & Virkajärvi, P. 2006b. Typpifraktioiden dynamiikka sekä nurmen typenotto sonta- ja virtsalaikeissa. s. 37–54. Julkaisussa: Virkajärvi, P. & Uusi-Kämppe, J. (toim.). Laitumien ja suojavaiohykkeiden ravinnekierto ja ympäristökuormitus. Maa- ja elintarviketalous 76. 208 s.
- Saarijärvi, K., Mattila, P.K. & Virkajärvi, P. 2006c. Ammonia volatilization from artificial dung and urine patches measured by equilibrium concentration technique (JTI method). *Atmospheric Environment* 40: 5137–5145.
- Saarijärvi, K., Virkajärvi, P. & Heinonen-Tanski, H. 2006d. Heinä- ja apilalaitumen tuotto ja ympäristövaikutukset. s. 18–36. Julkaisussa: Virkajärvi, P. & Uusi-Kämppe, J. (toim.). Laitumien ja suojavaiohykkeiden ravinnekierto ja ympäristökuormitus. Maa- ja elintarviketalous 76. 208 s.
- Saarijärvi, K. & Virkajärvi, P. 2009. Nitrogen dynamics of cattle dung and urine patches on intensively managed boreal pasture. *Journal of Agricultural Science* 147: 479–491.
- Saarijärvi, K., Virkajärvi, P. & Heinonen-Tanski, H. 2007. Nitrogen leaching and herbage production on intensively managed grass and grass-clover pastures on sandy soil in Finland. *European Journal of Soil Science* 58: 1382–1392.
- Salo, T., Grönroos, J., Luostarinen, S., Kapuinen, P., Manninen, K., Rankinen, K. & Myllyviita, T. 2015. Lietelannan happokäsittely lannan ravinteiden käytön tehostamisen tukena. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 56/2015. 44 s.
- Salo, T. & Turtola, E. 2006. Nitrogen balance as an indicator of nitrogen leaching in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 98–107.
- Salo, T., Ylivainio, K., Partanen, K., Rinne, M., Nousiainen, J., Kapuinen, P., Esala, M., Peltonen, S. & Valaja, J. 2011. Lannan lannoituskäytön kehittäminen ja ravinteiden tehokas käyttö. s. 17–40. Julkaisussa: Luostarinen, S., Logrén, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Paavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K. & Järvenpää, M. (toim.). Lannan kestävä hyödyntäminen. MTT Raportti 21. 164 s.
- Sharpely, A.N. 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 24: 920–926.
- Sharpely, A. & Moyer, B. 2000. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality* 29: 1462–1469.
- Sippola, J. 1986. Maan typpivarojen mineraloituminen. *Koetoiminta ja käytäntö* 43 (25.11.1986). s. 67.
- Sippola, J. & Ylänta, T. 1985. Mineral nitrogen reserves in soil and nitrogen fertilization of barley. *Annales Agriculturae Fenniae* 24: 117–124.
- Stevenson, F.J. & Cole, M.A. 1999. Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. Second edition. New York, John Wiley & Sons, Inc. 427 s.
- Turner, B.L. & Leytem, A.B. 2004. Phosphorus compounds in sequential extracts of animal manures: Chemical speciation and a novel fractionation procedure. *Environmental Science & Technology* 38: 6101–6108.
- Turtola, E. & Yli-Halla, M. 1999. Fate of phosphorus applied in slurry and mineral fertilizer: accumulation in soil and release into surface runoff water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 165–174.
- Uusi-Kämppe, J. 2012. Jäätyminen lisää nurmikasvuston fosforihuuhtoumaa – kasvuston korjaaminen pienentää. Julkaisussa: Schulman, N. (toim.). Maataloustieteen Päivät 2012. Esitelmä- ja posteritiivistelmät. Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedote no 29.
- Uusi-Kämppe, J. & Heinonen-Tanski, H. 2008. Evaluating slurry broadcasting and injection to ley for phosphorus losses and fecal microorganisms in surface runoff. *Journal of Environmental Quality* 37: 2339–2350.
- Uusi-Kämppe, J. & Mattila, P. 2010. Nitrogen losses from grass ley after slurry application – surface broadcasting vs. injection. *Agricultural and Food Science* 19: 327–340.
- Uusi-Kämppe, J., Turtola, E., Närvänen, A., Jauhiainen, L. & Uusitalo, R. 2012. Phosphorus mitigation during springtime runoff by amendments applied to grassed soil. *Journal of Environmental Quality* 41: 420–426.
- Vanotti, M.B., Rashash, D.M.C. & Hunt, P.G. 2002. Solid-liquid separation of flushed swine manure with PAM: effect of wastewater strength. *Transactions of the ASAE* 45(6): 1959–1969.

- Viljavuuspalvelu Oy. 2008. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. 8 s. Saatavissa: <http://viljavuuspalvelu.fi/sites/default/files/sites/default/files/oppaat/2008%20Viljavuustutkimuksen%20tulkinta%20peltoviljelyss%C3%83%C2%A4.pdf>
- Viljavuuspalvelu Oy. 2016. Lantatilasto vuosilta 2005-2009. Saatavissa: <http://viljavuuspalvelu.fi/sites/default/files/sites/default/files/tilastot/Lantatilasto%202005%20-%202009.pdf>. Viitattu 16.4.2016.
- Virkajärvi, P., Kykkänen, S., Rätty, M., Hyrkäs, M., Järvenranta, K., Isolanti, M. & Kauppila, R. 2014. Nurmien kaliumtalous. Maan reservikaliumin merkitys kaliumlannoituksen suunnittelussa. MTT Raportti 165. 52 s.
- VN 2000. Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta 931. Annettu Helsingissä 9. marraskuuta 2000. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000931>
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeological Publications 63: 1-44.
- Walsh, J.J., Jones, D.L., Edwards-Jones, G. & Williams, A.P. 2012. Replacing inorganic fertilizer with anaerobic digestate may maintain agricultural productivity at less environmental cost. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 175: 840-845.
- Wilfert, P., Kumar, P.S., Korving, L., Witkamp, G.-J. & van Loosdrecht, M.C.M. 2015. The relevance of phosphorus and iron chemistry to the recovery of phosphorus from wastewater: A Review. Environmental Science & Technology 49 (16): 9400-9414.
- Whitehead, D.C. 2000. Nutrient elements in grassland: Soil-plant-animal relationships. CABI Publishing, Wallingford, Oxon. OX10 8DE, UK. 384 s.
- Wienforth, B., Herrmann, A., Sieling, K., Ohl, S., Hartung, E., Taube, F. and Kage, H. 2010. Biogas-Expert: grassland methane yield and short-term N efficiency of biogas residues. Teoksessa: Grassland in a changing world. Proceedings of the 23<sup>rd</sup> General Meeting of the European Grassland Federation, Kiel, Germany, August 29<sup>th</sup> - September 2<sup>nd</sup> 2010/ Toim. H. Schnyder ym.
- Yara. 2012. Lannoiteopas 2012-2013.
- Ylivainio, K. & Turtola, E. 2009. Kotieläintalouden ylijäämäfosfori kasvintuotannossa. s. 65-160. Teoksessa: Turtola, E. & Ylivainio, K. (toim.). Suomen kotieläintalouden fosforikierto – sääätöpotentiaali maataloilla ja aluetasolla. Maa- ja elintarviketalous 138. 244 s.
- Ylivainio, K. & Turtola, E. 2013. Solubility and plant-availability of P in manure: Baltic forum for innovative technologies for sustainable manure management : knowledge report. Baltic Manure WP4 standardisation of manure types with focus on phosphorus. 13 s. [url]
- Ylivainio, K., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2008. Meat bone meal and fox manure as P sources for ryegrass (*Lolium multiflorum*) grown on a limed soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems 81: 267-278.
- Øgaard, A.F. 1996. Effect of fresh and composted cattle manure on phosphate retention in soil. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science 46: 98-105.
- Ørtenblad, H. 2015. The use of digested slurry within agriculture. Verkkajulkaisuun viitattu 8.7.2015. <http://homepage2.nifty.com/biogas/cnt/refdoc/whrefdoc/d9manu.pdf>



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Viikinkaari 4  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000