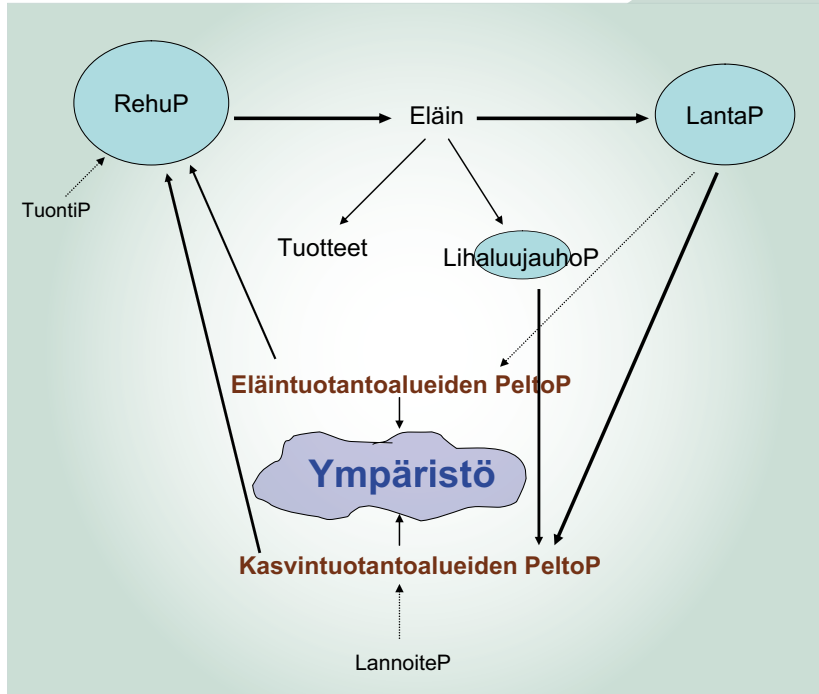


# Suomen kotieläintalouden fosforikierto – säätöpotentiaali maataloilla ja aluetasolla

Eila Turtola ja Kari Ylivainio (toim.)



Maa- ja elintarviketalous 138  
244 s.

# **Suomen kotieläintalouden fosforikierto – säätöpotentiaali maatiloilla ja aluetasolla**

Eila Turtola ja Kari Ylivainio (toim.)

ISBN 978-952-487-215-7 (Painettu)  
ISBN 978-952-487-216-4 (Verkkajulkaisu)  
ISSN 1458-5073 (Painettu)  
ISSN 1458-5081 (Verkkajulkaisu)  
[www.mtt.fi/met/pdf/met138.pdf](http://www.mtt.fi/met/pdf/met138.pdf)

Copyright

MTT

Kirjoittajat

Julkaisija ja kustantaja

MTT, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

MTT, Tietopalvelut, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

sähköposti [julkaisut@mtt.fi](mailto:julkaisut@mtt.fi)

Julkaisuvuosi

2009

Kannen kuva

Eila Turtola

Painopaikka

Tampereen Yliopistopaino Oy Juvenes Print

# Alkusanat

Suomen maatalouden fosforikierto kytkeytyy vahvasti kotieläintalouteen. Kotieläimet syövät suurimman osan kasvien vuosittain maasta ottamasta fosforista, ja kotieläintuotannon sivutuotteiden, lannan ja lihaluujauhon, fosforisisältö on vuositasolla yhtä suuri kuin kemiallisissa lannoitteissa pelloille viime vuonna levitetty fosforimäärä. Yksittäisillä maatiloilla ei kuitenkaan käytetä lantaa ja ostolannoitteita tässä suhteessa, koska maatilat ovat yhä enemmän erikoistuneet joko kotieläintuotantoon tai kasvintuotantoon. Erikoistuminen on myös alueellista, esimerkiksi Varsinais-Suomessa ja Pohjanmaalla on laajoja alueita, joilla muodostuu lantafosforia vuodessa useita kymmeniä kiloja peltohehtaaria kohti. Kun lantafosfori kiertää vain vähän alkulähteilleen, fosforikiertoa täydennetään kasvintuotannossa väkilannoitteilla. Näin kasvintuotantotilat voivat toisaalta valita vapaammin lannoitustasonsa, mikä heijastuu lannoitusmäärien suurena vaihteluna maatilojen ja peltolohkojen välillä. Luomutuotannossa ei sallita väkilannoitusta lainkaan.

Fosforikierron alueellisista eroista riippumatta Suomessa on totuttu käyttämään suuria fosforilannoitusmääriä. Voimaperäisellä lannoituksella haluttiin alun perin nostaa maan fosforipitoisuutta ja myös kerätä fosforivarantoja tulevaisuutta varten. Pitkään myös uskottiin, ettei maan fosforipitoisuuden kasvulla olisi kielteisiä vaikutuksia ympäristön tilaan. Väkilannoitus on viime vuosina voimakkaasti vähentynyt, mutta esimerkiksi ympäristötuen fosforilannoitusrajat ovat edelleen korkeampia kuin viljelykasvien tarve edellyttäisi. Kaiken kaikkiaan pitkään jatkunut lannan käytön alueellinen epätasapaino, väkilannoitefosforin tuominen kiertoon ja yleensäkin ylimitoitettu fosforinkäyttö ovat kerryttäneet fosforia suurelle osalle peltoalasta sellaisia määriä, että tällä on huomattava vaikutus maatalouden vesistökuormitukseen. Maatalouden harjoittaminen kestävästi edellyttää fosforikierron korjaamista ja maahan kertyneiden fosforivarojen pienentämistä. Tämä voidaan toteuttaa hyödyntämällä kaikki soveltuvat fosforia sisältävät tuotannon sivutuotteet ravinnelähteinä kasvin- ja eläintuotannossa ja turvautumalla vasta toissijaisesti väkilannoitteisiin. Lantafosforin tarpeen mukaisen käytön edellytyksenä on myös prosessointimenetelmien kehittäminen ja lantafosforin markkinointi.

Tuotannon sivutuotteiden hyödyntäminen kannattaa perustaa tutkittuun tietoon ravinteiden käyttökelpoisuudesta ja niiden todellisesta tarpeesta. Kotieläintuotannon sivutuotteena syntyy lihaluujauhoa niin paljon, että siitä riittäisi vuodessa fosforia puoli kiloa peltohehtaaria kohti. Kun lihaluujauhon lannoitekäyttö on tullut sallituksi, se muodostaa potentiaalisen väkilannoitteita korvaavan ravinnelähteen. Lihaluujauho sisältää hitaasti liukenevaa luuperäistä fosforia, jonka käyttökelpoisuus kasvintuotannossa on tärkeä tuntea. Merkittävä osa lihaluujauhosta on syötetty turkiseläimille, minkä vuoksi lihaluujauhon kierrätysvaihtoehdot joko suoraan lannoitteeksi tai eläinten ruokintaan vaikuttavat myös

lantafosforin käyttökelpoisuuteen ja erityisesti Pohjanmaan alueen fosforitaseisiin. Myös muussa kotieläintuotannossa, kuten maidontuotannossa, on kiinnitetty vähemmän huomiota fosforiruokinnan optimointiin kuin typen käyttöön, mikä on vaikuttanut syntyvän lantafosforin määrään. Kotieläinten ruokintaa on mahdollista säätää ja vähentää tilalle ostettavan fosforin käyttöä, jolloin tilojen fosforitaseet laskevat. Tuotannon perusprosesseihin liittyvät korjausliikkeet ovat välttämättömiä maaperän fosforipitoisuuden pienentämiseksi ja päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi. Fosforin tarpeenmukainen käyttö voi parhaimmillaan myös vähentää turhia kustannuksia.

Tähän Maa- ja elintarviketalous -lehden numeroon on koottu tulokset tutkimuksesta 'Suomen kotieläintalouden fosforikierto – tila- ja aluetason käytöjen optimointi'. Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa ja kehittää työkaluja, joiden avulla voidaan sulkea kotieläintalouden ja koko Suomen maatalouden fosforikiertoa, vähentää fosforikuormitusta ja säästää rajallisia fosforivaroja. Tavoitteena oli ensisijaisesti vähentää turhaa fosforin kertymistä maahan. Tutkimukseen sisältyivät osakokonaisuudet tilatason fosforinkäytön optimoinnista tuotantoa kuvaavien mallien avulla sekä maidontuotannossa (kirjoittajina Huhtanen ym) että turkistuotannossa (Rekilä ym.), kotieläintalouden ylijäämäfosforin hyödyntämisestä kasvintuotannossa (Ylivainio ja Turtola, Ylivainio ym.) ja ympäristön ja talouden välisistä kytkennöistä tila- ja aluetasolla (Helin). Osatutkimusten tuloksia hyödynnettiin laskemalla maatalouden fosforikierron alueellinen saatövara ja sen vaikutukset fosforin käyttötarpeeseen ja potentiaaliseen fosforikuormitukseen (Lemola ym.).

Tutkimus toteutettiin vuosina 2004–2008, ja sitä rahoittivat maa- ja metsätalousministeriö, Suomen turkistuottajain keskusliitto, Honkajoki Oy, Valio Oy, Kemira Grow-How Oyj ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Yhteistyökumppanien panos ja asiantuntemus olivat tutkimukselle erittäin arvokkaita. Kiitämme rahoittajien lisäksi tutkimuksen ohjausryhmää, johon kuuluivat Pirjo Salminen (puheenjohtaja), Sini Wallenius ja Tarja Haaranen MMM:stä, Helinä Hartikainen Helsingin yliopistosta, Ilpo Pölönen ja Timo Mikkola STKL:sta, Kurt Hemnell MTK:sta, Sari Peltonen ProAgriasta ja Anne Polso Länsi-Suomen ympäristökeskuksesta. Lisäksi haluamme kiittää Hannu Uusi-Honkoa aktiivisesta tuesta tutkimuksen käynnistämiseksi.

Jokioisilla 30.12.2008

Eila Turtola, Pekka Huhtanen, Kari Ylivainio, Janne Helin ja Teppo Rekilä

# Sisällysluettelo

Maitotilan fosforikierron mallintaminen <i>Pekka Huhtanen, Juha Nousiainen, Mikko Tuori ja Eila Turtola</i> .....	6
Turkiseläintuotannon fosforikierron mallintaminen <i>Teppo Rekilä, Nita Koskinen, Pekka Huhtanen, Päivi Pylkkö, Kirsi Kup- sala ja Kari Ylivainio</i> .....	34
Kotieläintalouden ylijäämäfosfori kasvintuotannossa <i>Kari Ylivainio ja Eila Turtola</i> .....	65
Peltojen viljavuuden kehitys Pohjanmaan ja Hämeen luomutiloilla <i>Kari Ylivainio, Unto Nikunen ja Eila Turtola</i> .....	161
Kotieläintalouden ravinnekierron ympäristötaloudellinen optimointi – alue- malli maidon- ja viljantuotantoon erikoistuneille tiloille <i>Janne Helin</i> .....	190
Fosforikierron biologinen säätövara ja sen vaikutus maatalouden fos- forikuormitukseen <i>Riitta Lemola, Jouni Nousiainen, Pekka Huhtanen ja Eila Turtola</i> .....	224

# Maitotilan fosforikierron mallintaminen

Pekka Huhtanen<sup>1)</sup>, Juha Nousiainen<sup>2)</sup>, Mikko Tuori<sup>1)</sup> ja Eila Turtola<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kotieläintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>2)</sup> Valio Oy, Alkutuotanto, PL 10, 00039 Valio, etunimi.sukunimi@valio.fi

<sup>3)</sup> MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

## Tiivistelmä

Intensiivinen kotieläintalous ja sen alueellinen keskittyminen ovat keskeisiä tekijöitä maatalouden vesistökuormituksen kannalta. Empiiristen tutkimusten mukaan maitotilojen fosforin (P) että typen (N) porttitaseet ovat selvästi ylijäämäiset Suomessa. Intensiiviseen karjatalouteen, erityisesti maidontuotantoon, kohdistuukin tulevaisuudessa entistä suurempi paine vähentää ravinnepestäjä, jotta sisä- ja rannikkovesien rehevöitymiskehitys voitaisiin katkaista.

Peltoviljelyn ravinnehuhtoumariskit ovat sidoksissa ravinnetaseisiin, vaikka lyhyellä aikavälillä (satovuosi) yhteys ei välttämättä ole kovin voimakas. Pidemmällä aikavälillä ravinnepestöt eivät vähene, ellei ravinneylijäämiä voida pienentää. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli 1) mallintaa maitotilan fosfori- ja typpikierto ja 2) testata mallin toimivuus riippumattomalla tila-aineistolla. Tavoitteena oli, että mallin avulla voidaan kvantitatiivisesti arvioida maitotilan ravinnetase ja ennustaa erilaisten peltoviljelyn ja maidontuotannon vaihtoehtojen vaikutuksia ravinnetaseisiin.

Maitotilamalli 'Lypsikki' koostuu viidestä eri alamallista: karjan uudistus (1), maidontuotanto (2), karjanlanta (3), rehuviljely (4) sekä ravinnetaseet (5). Malli toimii MS-excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Rehuviljelyosassa arvioidaan viljeltyjen kasvien sadot ja satojen typpi- ja fosforipitoisuus. Satofunktiot estimoitiin kotimaisten ruutusatokokeiden perusteella siten, että typpi- ja fosforilannoituksen vaikutus kasvien satoon huomioitiin erillisinä. Fosforilannoitusvasteen oletettiin riippuvan maan viljavuusfosforiluvusta. Mallissa lasketaan tietyn lehmämäärän tarvitsema nuorkarjan määrä, kun kaikki tilan eläimet kasvatetaan itse ja lehmien poiston osuus ja poikimisväli vaihtelevat. Simulointi rakennettiin Powersim –ohjelmalla. Nuorkarjan tarvitsema rehumäärä laskettiin ruokintasuositusten mukaan, ja erotuksena saatiin lehmille jäävä rehusatomäärä. Ruokintana käytettiin ympärivuotista säilörehuruokintaa. Lehmien tarvitsema rehumäärä laskettiin voimassa olevia ruokintasuosituksia noudattaen, mutta siten, että normeja on mahdollista muuttaa eri simuloinneissa. Lehmien syötipotentiaali mallinnettiin erikseen eläintekijöistä (tuotospotentiaali, elopaino) ja dieettitekijöistä (karkearehun laatu ja väkirehuruokinta) riippuvaksi. Lehmien dieetti optimoitiin pienimmän rehuannoksen hinnan perusteella keskimääräiselle tuotostasolle laktaation aikana ottaen huomioon lehmien syötipotentiaali,

tuotostaso sekä käytössä olevien rehujen laatu ja hinta. Maidontuotanto ja maidon koostumus laskettiin käyttäen energian ja valkuaisen saantiin perustuvia todellisia tuotosvasteita. Ravinnetaselaskennassa arvioidaan maitoon, eläimiin ja lantaan jakautuvat ravinteet, ja lasketaan tilan ravinteiden porttitaseet ottaen huomioon kasvien, maidon ja eläinten myynnit tilalta ulos ja ravinteiden ostot mm. lannoitteissa ja rehuissa. Malli testattiin 26 maitotilan aineistolla, joka sisälsi 1–4 satovuoden ravinnetaseet.

Tulokset osoittivat, että mallilla lasketut tilojen fosfori- ja typpitaseet korreloivat hyvin havaittujen taseiden kanssa (P:  $R^2 = 0.800$  ja N:  $R^2 = 0.876$ ). Sekä mallilla simuloitujen että havaittujen tulosten perusteella tilalle ostettu fosforilannoitekilo lisäsi porttitasetta noin 0.99–1.08 kg/ha eli lannoitefosfori jäi kokonaan peltoon. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että fosforilannoituksen satovasteet ovat maitotiloilla karjanlannan käytöstä ja maan korkeista fosforiluvuista johtuen pieniä. Tila-aineistot osoittavat, että ostorehuissa tilalle tulevaa fosforia ei ole otettu huomioon kasvien lannoituksessa. Tuotantointensiteetin lisääntyessä 1000 maitokilolla hehtaaria kohti fosforitase nousi 1.7–2.0 kg/ha sekä mallisimuloinneissa että tila-aineistoissa. Tutkimus osoitti, että suomalais-ten maitotilojen fosforitase voidaan laskea reilusti alle puoleen nykyisestä vähentämällä oleellisesti tai lopettamalla kokonaan taloudellisesti kannattamaton fosforilannoitus. Tuotantointensiteetin lisäys lehmämäärää lisäämällä nostaa fosforitasetta vähemmän kuin ruokintaintensiteetin, erityisesti valkuaisruokinnan, lisäys. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että maitotilan kasvinviljelyn ja maidontuotannon integroiva systeemimalli on hyvin käyttökelpoinen työkalu ravinteiden hyväksikäytön tehostamiseksi. Jatkotutkimuksissa mallia täydennetään laidunkierrolla ja nurmirehujen korjuustrategialla.

---

*Avainsanat: maitotila, fosfori, ravinnekierto, mallinnus*

---



# Modelling phosphorus cycle and management decisions affecting nutrient balances on dairy farms

Pekka Huhtanen<sup>1)</sup>, Juha Nousiainen<sup>2)</sup>, Mikko, Tuori<sup>1)</sup>, and Eila Turtola<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> MTT Agrifood Research Finland, Animal Production Research, FI-31600, Jokioinen, Finland, [firstname.lastname@mtt.fi](mailto:firstname.lastname@mtt.fi)

<sup>2)</sup> Valio Ltd., Farm Services, P.O. Box 10, 00039 Valio, [firstname.lastname@valio.fi](mailto:firstname.lastname@valio.fi)

<sup>3)</sup> MTT Agrifood Research Finland, Kasvintuotannon tutkimus, FI-31600, Jokioinen, Finland, [firstname.lastname@mtt.fi](mailto:firstname.lastname@mtt.fi)

## Abstract

Intensive animal production and its concentration to certain areas are important factors influencing nutrient emissions to the environment. Empirical field data indicates that farm gate phosphorus (P) and nitrogen (N) balances are highly positive in Finland and calls for measures to reduce the balances especially in milk production.

While the relationship between P and N emissions and nutrient balances may not be very strong within a shorter period (e.g. growing season), nutrient leaching losses can not be ultimately mitigated unless excesses per hectare are reduced. The objective of this study was to model N- and P cycles on dairy farms (2) and to validate the model with independent farm data. The objectives of the model were to predict nutrient balances in a dairy farm and estimate the effect of different management decisions in crop and milk production on nutrient balances.

The dairy farm model ('Lypsikki') includes five sub-models: herd replacement (1), milk production (2) manure management (3), crop production (4) and farm nutrient balances (5). The model was constructed using MS-Excel® and the optimizations were made using Excel Solver®. Crop yield functions were based on Finnish data from plot-experiments. The effects of N- and P-fertilization on crop yields were assumed to be independent of each other. The responses to P-fertilization were related to soil P-test. The herd model estimates the number of young stock needed to maintain the given herd size, when replacement rate and calving interval are known. The model assumes that the heifers are raised on the farm. Herd replacement model was constructed using Powersim® software. Milk production model assumes zero grazing system with year-round silage feeding. The amount of feeds required by the young stock was calculated according to the Finnish recommendations and the remaining feed produced on farm was available for dairy cows. Feeding of dairy cows was calculated using the current feeding recommendations, but the model allowed adjusting the recommendations to predict the effects of feeding intensity on nutrient balances. Intake potential of the cows was modeled from animal (yield potential, live weight) and dietary (forage quality, concentrate feeding) factors. The diet was

optimized for minimum cost to meet the requirements, taking into account intake potential, milk production, and the amount, quality and price of the feeds. Milk production and milk composition were estimated from intake of energy, protein and some other nutrients using prediction equations derived from a large data set (998 treatment means). The nutrients in milk, animals and manure were estimated by nutrient balance sub-model. Farm gate nutrient balances were calculated as a difference between imported fertilizers, manure, feeds and animals and exported milk, animals, crops and manure. The model was validated using data from 26 dairy farms, including calculated nutrient balances of 1–4 years.

The model validation indicated a strong relationships between model-predicted and observed farm gate nutrient balances: (P:  $R^2 = 0.800$  and N:  $R^2 = 0.876$ ). Based on both model predictions and farm data, one kg of purchased P-fertilizer increased farm gate P-balance by 0.99–1.08 kg; i.e. all purchased P-fertilizer remained on the farm and increased the amount of P available for leaching or surface run-off. This is most likely related to small yield responses to increased P-fertilization in dairy farms where manure P is used and soil P-test values are usually high. Small positive correlation in the amount of imported fertilizer and feed P indicates that feed P (and manure P) is not taken into account in P-fertilization. Farm gate P-balance increased 1.7–2.0 kg/ha both in model simulations and farm data as production intensity was increased by 1000 kg milk/ha. Farm gate P-balance can be reduced to less than 50% of the current level by markedly reducing or completely giving up the application of purchased P-fertilizers. Increasing production intensity (kg milk/ha) by more intensive feeding, especially protein, will increase farm gate P-balance more than increasing the number of cows while maintaining production level per cow. It can be concluded that the constructed model, which integrates crop and animal production, and manure management on dairy farms is a useful tool in finding the most efficient means to reduce farm nutrient balances and nutrient emissions. The future work will focus on including grazing and forage harvesting strategies in the model.

---

*Key words: dairy farm, phosphorus, nutrient balance, modeling*

---

# 1 Johdanto

Vuosina 2000–2004 maatalouden osuus ihmistoiminnan aiheuttamasta vesistökuormituksesta Suomessa oli fosforikuorman osalta noin 60% ja typpikuorman osalta noin 50%. Viimeisen vajaan 20 vuoden aikana maamme peltojen fosfori- ja typpitaseet ovat laskeneet etenkin kasvintuotantoalueilla, kun taas intensiivisen kotieläintuotannon alueilla taseet ovat pysytelleet korkeampina (MMM 2004, Uusitalo ym. 2007, Salo ym. 2007). Tulevaisuudessa maatalouden aiheuttama vesistökuormitus on siten yhä suuremmalta osin sidoksissa ravinnepäästöihin intensiivisen kotieläintalouden alueilla. Erityisesti voimape- räisillä maidontuotantoalueilla, kuten Pohjanmaalla, peltojen fosforitaseet ovat muita alueita korkeampia (Uusitalo ym. 2007), ja näillä alueilla nautaeläinten tuottaman lannan ravinnesisältö on keskeinen kuormituksen taustatekijä (Yrjänän ym. 2003). Huolimatta monista toimenpiteistä mm. jo toteutetuissa ympäristötukijärjestelmissä, maataloudesta kuormituksensa saavien vesistöjen tila ei ole vielä merkittävästi parantunut (Räike ym. 2004, Ekholm ym. 2007). Mittattavien vaikutusten näkyminen vie aikaa, koska aikaisempien toimien vuoksi maaperään ja vesistöihin on varastoitunut runsaasti ravinteita. On myös mahdollista, että toimenpiteet ovat olleet riittämättömiä ja/tai väärin suunnattuja. Monet tukiohjelmien toimenpiteet, kuten peltojen suojakaistat, tavoittelevat ravinnepäästöjen vähentämistä maahan eivätkä niinkään kvantitatiivista ravinnekierron hallintaa.

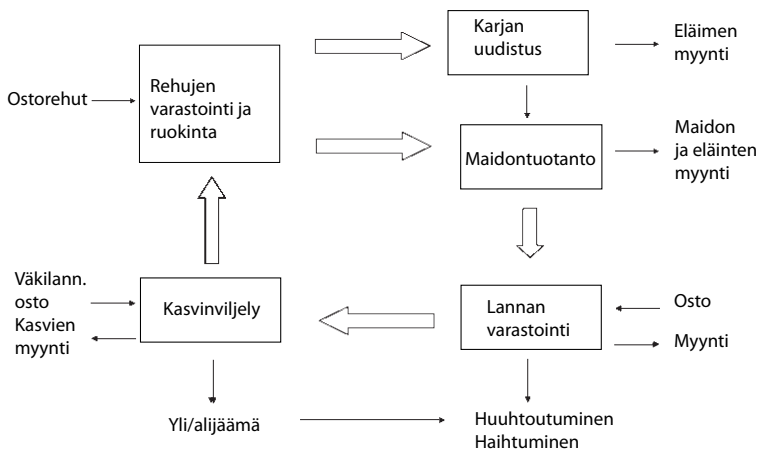
Empiiristen tila-aineistojen mukaan Suomen maitotiloilla fosforin (P, 11,7 kg/ha) ja typen (N, 110 kg/ha) porttitaseet ovat selvästi ylijäämäiset (Virtanen ja Nousiainen 2005). Laskennallisen arvion mukaan 1900 -luvulla Suomen koko karjatalouden lantaan tuottama fosforimäärä nousi noin 7000 tonnista reiluun 20000 tonniin (Nousiainen J.I., julkaisematon). Vastaavasti kotieläintuotteisiin sitoutunut fosforimäärä kaksinkertaistui 2500 tonnista 5000 tonniin. Maidontuotannossa tuotantointensiteetin (kg maitoa/ha) lisäys yleensä johtaa ympäristön kannalta negatiiviseen kehitykseen (Virtanen ja Nousiainen, 2005). Tätä kehitystä on Suomen EU-jäsenyyden ajan vauhdittanut suhteellisen korkea maidon hinta suhteessa viljan ja valkuaisrehujen hintaan. Tällöin ruokintaintensiteettiä on kannattanut nostaa, mutta aleneva lisätuotos (kg maitoa/lisäväkirehukilo) on johtanut jyrkästi nousevaan lannan fosforisisältöön maitokiloa kohden (Yrjänän ym. 2003). Samaan aikaan maitotilojen rakennekehitys on ollut suurelta osin tilan ulkopuolelta ostettujen rehujen varassa lisäten tilojen fosforiylijäämää. Ylimääräinen lannan fosfori olisi tietenkin hyödynnettävissä kasvinviljelyssä, mutta tätä rajoittaa kasvinviljelytilojen vähäinen määrä intensiivisen maidontuotannon alueilla. Rakennemuutos ja ruokintaintensiteetin kasvu onkin johtanut siihen, että maitotilojen keskimääräinen fosforiylijäämä on nousussa, vaikka kokonaistuotanto on laskenut. Maatalouden ympäristötutkimus on pitkälti keskittynyt ravinnekierron (maaperä, kasvinviljely, ruokinta, lanta, huuhtoumat) yksityiskohtien tutkimukseen. Tämän sinänsä arvok-

kaan ja välttämättömän tiedon hyödyntäminen voi jäädä tehottomaksi ilman koko ravinnekierron kokonaisvaltaista ja kvantitatiivista hallintaa. On esimerkiksi mahdollista, että parannettaessa ruokinnan ravintoaineiden hyväksikäyttöä koko tilasysteemitason hyväksikäyttö voi huonontua, jos ruokinnan muutos tehdään ostopanoksilla.

Intensiiviseen karjatalouteen, erityisesti maidontuotantoon, kohdistuu yhä suurempi paine vähentää ravinnepäästöjä. Potentiaaliset peltoviljelyn ravinnehuutoumat ovat sidoksissa ravinnetaseeseen, vaikka lyhyellä aikavälillä (satovuosi) yhteys ei välttämättä ole kovin selkeä (Ekholm ym. 2005). Maan fosforiluvun noustessa matalalta tasolta satotaso ensin nousee, mutta potentiaalinen huutoumariski kasvaa samalla ja jatkaa kasvuaan fosforiluvun noustessa kasvien tarvetta suuremmaksi (Sharpley ym. 2003, Uusitalo ja Aura 2005). Pidemmällä aikavälillä ravinnepäästöjä ei voida vähentää ilman ravinnetaseen laskua. Tämän tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena oli kehittää maitotilan systeemimalli ravinteiden hyväksikäytön ja ravinneylijäämien laskemiseksi. Lisäksi tavoitteena oli testata mallin toimivuus riippumattomalla tila-aineistolla ja arvioida yksittäisten rehuviljelyn ja ruokinnan toimenpiteiden vaikutuksia ravinteiden hyväksikäyttöön ja ravinneylijäämiin.

## 2 Aineisto ja menetelmät

Malli koostuu viidestä eri alamallista: karjan uudistus (1), maidontuotanto (2), karjanlanta (3), rehuviljely (4) sekä ravinnetaseet (5) (Kuva 1). Malli on rakennettu pääosin Excel® taulukkolaskenta-ohjelmalla.



Kuva 1. Maitotilan ravinnekiertomallin kaavamainen esitys

## 2.1 Karjan uudistus

Mallissa lasketaan lehmien uudistukseen tarvittava nuorkarjan määrä uudistusnopeuden ja poikimavälin mukaan (Huhtanen ja Nousiainen 2006). Lehmien poistotarve eri tuotannon vaiheissa sekä vasikoiden kuolleisuus laskettiin karjantarkkailuaineiston perusteella (Nousiainen 2006). Malli olettaa, että syntyneet sonnivasikat (0,52) ja ylimääräiset lehmävasikat myydään heti syntymän jälkeen ja vakiolehmämäärä ylläpidetään lehmävasikoiden myynnillä. Mallintaminen tehtiin Powersim®-ohjelmistolla, joka voi kommunikoida Excel® taulukkolaskentaohjelman kanssa.

Nuorkarjan ja umpilehmien ravinnontarpeet (kasvu, tiineys) laskettiin suomalaisten ruokintasuositusten mukaan (MTT 2006). Laskennallinen fosforin saanti perusrehuista (säilörehu, vilja ja rypsi) oli riittävä kaikille eläinryhmille ilman kivennäisfosforia.

## 2.2 Maidontuotanto

Lehmien ruokinnat laskettiin lypsykauden keskimääräisen tuotoksen ja maidon koostumuksen mukaan. Yksinkertaistettu malli on perusteltu, koska lypsykauden jakaminen kolmeen osaan johti keskimäärin samanlaiseen dieettiin, jota myös tutkimustulokset tukevat.

Päivittäinen lehmien ravinnontarve (ME, OIV, Ca, P, Na ja Mg) laskettiin suomalaisten suositusten perusteella (MTT 2006). Karkearehujen energia- (MJ ME/kg KA) ja valkuaisarvo (OIV, g/kg KA) laskettiin D-arvon ja raakavaluaispitoisuuden mukaan (MTT 2006). Ostoväkirehujen ME- ja OIV-arvot laskettiin taulukoiden koostumuksen ja sulavuuksien mukaan (MTT 2006). Kotoisten rehujen kivennäispitoisuus laskettiin typpi- ja fosforilannoituksen perusteella. Lehmien ME-tarve laskettiin seuraavasti:

$$\text{ME tarve (MJ/pv)} = 0,515 \times \text{EP}^{0,75} + 5,15 \times \text{EKM} \quad [1]$$

missä EP = elopaino (kg) ja EKM = energiakorjattu maitotuotos (kg/pv). Lehmien todellinen ME-saanti laskettiin korjaamalla taulukkoarvojen perusteella laskettu energiansaanti väki- ja karkearehujen negatiivisten yhdysvaikutusten ja korkeamman ruokintatason mukaan seuraavasti:

$$\text{ME}_{\text{tod}} \text{ (MJ/pv)} = 13,6 + 0,936 \times \text{MEI} - 29,5 \times \text{VR}_{\text{osuus}} \quad [2]$$

missä MEI = ME saanti (taulukkoarvot) ja  $\text{VR}_{\text{osuus}}$  = väkirehun osuus dieetin kuiva-aineessa (0–1). Lehmien fosforin tarve laskettiin seuraavasti

$$\text{P (g/pv)} = (0,002 \times \text{EP} + 1,0 \times \text{KA}_{\text{syö}} + 0,9 \times \text{Maito}) / 0,70 \quad [3]$$

missä  $\text{KA}_{\text{syö}}$  = kuiva-aineen syönti (kg KA/pv) ja maidon fosforipitoisuus (0,93 g/kg) ja rehujen fosforin hyväksikäyttö (0,70) oletettiin vakioiksi.

Lehmille käytettävissä olevien kotoisten rehujen määrä laskettiin vähentämällä rehusadosta nuorkarjan ja umpilehmien tarvitsema rehumäärä. Tilalla tuotettujen rehujen ylimäärä myytiin tilalta ulos. Lehmien kuiva-aineen syöntipotentiaali ( $KASYÖ_{max}$ ) laskettiin seuraavasti:

$$KASYÖ_{max} \text{ (kg KA/pv)} = a + b \times EP + c \times EKM + 0,1 \times (\text{TDMI indeksi} - 100) \quad [4]$$

missä a, b and c ovat vakioita ja TDMI indeksi kuvaa koko dieetin syöntipotentiaalia ja se laskettiin Rinne ym. (2008) kuvaamalla tavalla. Kaavassa maitotuotos (EKM) kuvaa dieetistä riippumatonta karjan tuotospotentiaalia.

Lehmien päivittäisen rehuannoksen optimointi tehtiin Excel® taulukkolaskentaohjelman Solver -työkalulla. Optimoinnissa huomioitiin syöntikyky, ruokintasuositukset, pötsifysiologiset rajoitukset (karkearehujen NDF:n saanti, tärkkelyksen ja rasvan pitoisuudet) sekä rehujen hinnat. Karkearehujen hinta koostui kaikista kustannuksista (kiinteät ja muuttuvat) minimikarkearehun tarpeelle (kg ka/pv) ja tätä ylittävältä osalta muuttuvista kustannuksista. Ostoväkirehuille käytettiin markkinahintoja.

Lehmien maidontuotanto optimoituilla dieeteillä laskettiin empiirisellä regressioyhtälöllä, joka on estimoitu lehmien tuotosvasteaineistosta mixed -regressiolla kokeiden välisen vaihtelun poistamiseksi (kts. Huhtanen ym. 2008). Tuotosvasteaineisto rajattiin siten, että kokeen keskimääräinen tuotos oli vähintään 25 kg/pv, jolloin aineistoon jäi 495 dieettikohtaista havaintoa. Tuotosvasteet ( $Y_{maito}$ ,  $Y_{EKM}$ ,  $Y_{valkuainen}$ ) laskettiin seuraavasti:

$$Y = a + b \times ME_{tod} + c \times ME_{tod}^2 + d \times ROV + e \times ROV^2 + f \times TÄRK + g \times TÄRK^2 + h \times VR_{ras} + i \times VR_{ras}^2 \quad [5]$$

missä  $ME_{tod}$  = korjattu ME-saanti (MJ/pv, ROV = ohitusvalkuaisen saanti (kg/pv) sekä TÄRK ja  $VR_{ras}$  rehuannoksen tärkkelys- ja raakarasvapitoisuus (g/kg KA).

## 2.3 Karjanlanta

Lypsävien lehmien lannan tyyppi jaettiin sonnan ja virtsan tyypeen seuraavasti:

$$\text{Virtsan N (g/pv)} = 16,9(\pm 11,0) - 12,3(\pm 0,69) \times KA_{Syo} + 0,833(\pm 0,012) \times N_{sa} \quad [6]$$

$$\text{Sonnan N (g/pv)} = -17,7(\pm 9,7) + 6,3(\pm 0,62) \times KA_{Syo} + 0,108 (\pm 0,011) \times N_{sa} \quad [7]$$

missä  $N_{sa}$  = typen saanti (g/pv). Yhtälöt perustuvat laajaan noin 500 ruokintaa käsittävään lypsylehmien ruokintakoeaineistoon (Huhtanen ym. 2008b). Sonnan typen määrä laskettiin typen saannin ja raakavalkuaisen sulavuuden perus-

teella ja virtsan tyyppi typen saannin sekä maidossa ja sonnassa eritetyn typen erotuksena olettaen, että pidättyneen typen määrä on nolla. Nuoren karjan ja umpilehmien lannan tyyppi jaettiin virtsan ja sonnan tyypeen ns. Lucasin yhtälöllä. Sonnan typen osuus laskettiin: sonnan RV/koko dieetin RV. Eläimiin sitoutunut typen osuus laskettiin jakamalla tilalta poistettuihin eläimiin sitoutunut tyyppi nuoren karjan ja umpilehmien ruokintaan käytetyllä typpimäärällä. Nuorkarjan virtsan tyyppi laskettiin seuraavasti:

$$\text{Virtsan N osuus} = (\text{N syönti} - \text{Sonnan N} - \text{Eläimiin sitoutunut N}) / \text{N syönti} \quad [8]$$

Malli olettaa, että lanta käsitellään lietelantana. Kokonaistyyppi ja -fosfori lietelannassa lasketaan:

$$\begin{aligned} N_{\text{liete}} &= N_{\text{rehut}} - N_{\text{maito}} - N_{\text{eläimet}} - 0,10 \times \text{Virtsan N} & [9] \\ P_{\text{liete}} &= P_{\text{rehut}} - P_{\text{maito}} - P_{\text{eläimet}} & [10] \end{aligned}$$

missä rehujen ravinteet on laskettu kaikkien eläinryhmien ruokinnasta (tilalla tuotetut rehut ja ostorehut). Virtsan ammoniakkin haihdunta oletettiin olevan 10%. Tilalta myydyin maidon tyyppi ja fosforisisältö laskettiin seuraavasti:

$$\begin{aligned} N_{\text{maito}} \text{ (kg)} &= 0,95 \times \text{Maitotuotos} \times 0,157 \times \text{RV}_{\text{maito}} & [11] \\ P_{\text{maito}} \text{ (kg)} &= 0,95 \times P_{\text{maito}} \text{ (g/kg)} \times \text{Maitotuotos (kg)} & [12] \end{aligned}$$

missä maidon fosforipitoisuus oletetaan vakioksi (0,9 g/kg). Maidon myyntiosuus on oletusarvona 0,95 kokonaistuotoksesta. Tilalta myytyihin eläimiin sitoutuneet ravinteet laskettiin ARC (1980) -taulukkoarvojen mukaan seuraavasti:

$$N_{\text{eläimet}} \text{ (kg)} = 0,0214 \times \text{EP (kg)} + 0,299 \quad [13]$$

$$P_{\text{eläimet}} \text{ (kg)} = 0,0067 \times \text{EP (kg)} + 0,055 \quad [14]$$

## 2.4 Rehuviljely

Tilan viljelykierto kuvataan mallissa seuraavasti:

$$\begin{aligned} A \text{ (ha)} &= a_1 \times K + a_2 \times K + a_3 \times \text{KV} + a_4 \times \text{NU1} + a_5 \times \text{NU2} + a_6 \times \text{NU3} \\ &+ a_7 \times \text{NU4} + a_8 \times \text{KE} & [15] \end{aligned}$$

missä A = kokonaisala, K = kaura, O = ohra, KV = kokoviljasäilörehu, NU = nurmi ja KE = kesanto. Nurmen ikä voi olla 1–4 vuotta (NU<sub>1</sub>-NU<sub>4</sub>). Parametrit a<sub>1</sub>-a<sub>8</sub> määrittävät kunkin kasvin osuuden kokonaisalasta. Peltoala (A) voidaan jakaa vielä kivennäismaihin (s<sub>1</sub>) ja eloperäisiin maihin (s<sub>2</sub>):

$$A \text{ (ha)} = s_1 \times A + s_2 \times A \quad [16]$$

Oletuksena on, että kaikkia viljelykierron kasveja viljellään annetussa maalajien suhteessa (s<sub>1</sub> ja s<sub>2</sub>) tasan. Peltojen kasvukuntoa määritetään parametrilla p<sub>1</sub>. Kasvukuntoon vaikuttavat mm. maan pH, vesitalous ja maan ravinteikkaus ja

rakenne. Oletusarvo 1 kuvaa keskimääräistä kasvukuntoa. Keskiarvotaso (S) lasketaan seuraavasti:

$$S \text{ (kg KA/ha)} = p_1 \times p_2 \times S_e \text{ (kg KA/ha)} \quad [17]$$

missä parametrilla  $p_2$  muunnetaan koeruutusato ( $S_e$ ) taluspeltojen sadoksi ja sen oletusarvo on 0,8. Maan fosforiluku (SPT) lasketaan seuraavasti:

$$SPT \text{ (mg/l)} = STP_0 + (0,0867 + 0,000906 \times SPT_0 \times P_t - 0,01869 \times SPT_0) \quad [18]$$

missä  $SPT_0$  (mg g/l) kuvaa maan fosforilukua ajanhetkellä 0 ja  $P_t$  on fosforin porttitase (kg/ha). Yhtälö [18] on muodostettu kotimaisten P-lannoituskokeiden tuloksista (Saarela 1995) soveltaen Ekholm ym. (2005) laskentamenetelmiä. Viljelykasvien lannoitus mallinnettiin seuraavasti:

$$N \text{ (kg/ha)} = N_s \text{ (kg/ha)} \times (1 - s_N \times v_N) + N_m \text{ (kg/ha)} \quad [19]$$

$$P \text{ (kg/ha)} = P_s \text{ (kg/ha)} + P_m \text{ (kg/ha)} \quad [20]$$

missä  $N_s$  ja  $P_s$  kuvaavat lietalannan sekä  $N_m$  ja  $P_m$  väkilannoitteiden ravinteita. Parametrit  $s_N$  ja  $v_N$  kuvaavat lietalannan liukoisen typen määrää ja haihtumistappiota levityksen yhteydessä. Parametrin  $s_N$  oletusarvo on 0,5 ja  $v_N$  0,15 (kevätlevytys ja multaus), 0,45 (hajalevytys nurmen pintaan) tai 0,33 (letkulevytys nurmelle). Lannan fosforin hyväksikäytön oletusarvo on 0,85. Oletuksena malli jakaa lietalannan eri kasveille seuraavasti: muokattavalle peltoalalle nitraattidirektiivin mukainen maksimimäärä ja loput nurmelle. Lannoituksen saotasteet saadaan N-lannoituksen (2. asteen polynomi) ja fosforivasteen summana seuraavasti:

$$KA_{\text{sato}} \text{ (kg/ha)} = a + b \times N \text{ (kg/ha)} + c \times N^2 \text{ (kg/ha)} + P_{\text{res}} \text{ (kg/ha)} \quad [21]$$

missä  $N$  on typpilannoituksen kokonaismäärä [19] ja  $a$ ,  $b$  ja  $c$  ovat vakioita. Fosforin antama lisäsatto ( $P_{\text{res}}$ ) on maan P-luvun ja P-lannoituksen [20] funktio suhteutettuna perustasoihin (P luku 10 mg/l ja P-lannoitus 15 kg/ha). Lannoituksen (N ja P) vaikutukset kasvien RV- ja P-pitoisuuksiin laskettiin erikseen regressioyhtälöillä, jotka estimoitiin kotimaisista lannoituskokeista (Saarela 1995).

## 2.5 Ravinnetaseet

Ravinteiden porttitaseet typelle ( $N_t$ , kg/ha/vuosi) ja fosforille ( $P_t$ , kg/ha/vuosi) laskettiin seuraavasti:

$$N_t = (N_o - N_{my})/A \quad [22]$$

$$P_t = (P_o - P_{my})/A \quad [23]$$

missä  $N_o$  ja  $P_o$  ovat ravinteiden ostot tilalle (väkilannoitteet, rehut, lanta, siemenet ja eläimet) ja  $N_{my}$  ja  $P_{my}$  ravinteiden myynnit tilalta (kasvit, maito, lanta ja eläimet). Taseessa ei huomioitu ravinteiden poistumista kierrosta haihtumalla tai huuhtoutumalla, eikä ilmalaskeumaa otettu huomioon.



Ravinteiden (ravintoaineiden) hyväksikäyttö rehuntuotannossa, ruokinnassa ja tilalla laskettiin seuraavasti:

$$HK_{\text{pelto}} = \text{Sadon P} / (\text{Väkilannan P} + \text{Karjanlannan P}) \quad [24]$$

$$HK_{\text{ruokinta}} = \text{Myydyn maidon ja lihan P} / \text{Rehun P} \quad [25]$$

$$HK_{\text{tila}} = \text{Myydyn rehun, maidon ja lihan P} / (\text{Ostolannoitteen P} + \text{Ostorehun P}) \quad [26]$$

Typen osalta käytettiin vastaavia kaavoja. Karjanlannan tyyppi sisälsi sekä liukaisen että liukenemattoman typen, mutta ei varastointitappioita.

Fosforiylijäämä maitokiloa kohti laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$P \text{ ylijäämä (g/kg)} = [\text{P:n saanti rehussa (g/pv)} - \text{Maidon P (g/pv)}] / \text{Maitotuotos (kg/pv)} \quad [27]$$

## 2.6 Mallin testaus

Testausta varten kerättiin Keski-Pohjanmaalta 26 maitotilan aineisto, jonka taustatiedot on esitetty Taulukossa 1. Tiloille laskettiin 1–4 vuoden tiedoista typen ja fosforin keskimääräiset porttitaseet (kg/ka) ja taseet myös simuloitiin maitotilamallilla vastaavasti. Simulointi tehtiin tilojen ilmoittamalla väkilannoitekäytöllä ja viljelykierrolla käyttäen satokertoimena 0,8 (lannoituksen satovaste =  $0,8 \times 0,8 = 0,64 \times$  ruutukoesto). Jos tiloilla oli lihanautoja, otettiin se simuloinnissa huomioon. Lehmien ruokinta optimointiin pienimmän rehukustannuksen mukaan käyttäen tilan havaitusta keskituotoksesta laskettua laktatiokauden (305 pv) päiväkeskituotosta. Väkirehuina optimoinnissa käytettiin tilan omaa viljaa, ostoviljaa, melassileikettä, rypsipuristetta ja -rouhetta sekä kivennäisrehuja. Simuloinnissa käytetyt rehujen ja maidon hinnat olivat vuoden 2006 keskihintoja. Maan fosforiluvun oletettiin olevan 15 mg/l.

## 2.7 Mallisimuloinnit

Mallisimulointien tavoitteena oli selvittää, miten erilaiset ruokintaan ja rehuntuotantoon vaikuttavat tekijät vaikuttavat fosforin hyväksikäyttöön ruokinnassa, rehunviljelyssä ja tilatasolla. Mallitilalla oletettiin olevan 70 ha kivennäismaan peltoa, jonka keskimääräinen fosforiluku on 10 mg/l. Lehmämääräksi oletettiin 50 ja tuotostasoksi 9000 kg maitoa, jonka rasvapitoisuus oli 43 g/kg ja valkuaispitoisuus 34 g/kg, sekä elopainoksi 600 kg. Lehmien uudistuksen oletettiin olevan 30%, joka on tämän hetkistä tilannetta (37%) hieman alempi. Rehuntuotannossa ei käytetty lainkaan väkilannoitefosforia lukuunottamatta lannoitefosforin vaikutusten simulointeja.

### 2.7.1 Kivennäisfosforin käyttö

Kivennäisrehun fosforipitoisuuden vaikutukset tilan fosforiylijäämään mallinnettiin käyttämällä kivennäisrehujen pitoisuutena 0, 10, 20, 30, 40 ja 50 g P/kg. Muuten olosuhteet (tuotostaso, peltoala) olivat samat kuin perusmallissa.

### 2.7.2 Fosforilannoitus

Fosforilannoituksen vaikutukset mallinnettiin olettamalla tilan peltojen fosforiluvuksi joko 5 tai 15 mg/L. Peltoala oli 50 ha, lehmämäärä 50, tuotostaso 9000 kg/v ja lehmien uudistus 30%. Peltoala jaettiin nurmen ja viljan kesken siten, että nurmirehua oli ruokinnassa lehmien syöntikyvyn mukainen määrä. Fosforilannoitusta lisättiin asteittain (vilja 2,5 kg/ha, nurmi 5 kg/ha) siten, että korkeimmat tasot olivat 10 ja 20 kg lannoite-P/ha.

### 2.7.3 Satotaso

Satotason vaikutus simuloitiin muuttamalla mallin satokerrointa välillä 0,7 – 1,2. Ruokinta optimointiin dieetin minimihinnan mukaisesti käyttämällä nurmelle yksikkökohtaista muuttuvaa kustannusta ja lehmäpäiväkohtaista kiinteää kustannusta. Ruokinta suunniteltiin 50 lehmälle ja 9000 kg:n tuotostasolle säilörehun syöntikyvyn puitteissa. Satotason noustessa nurmialaa vähennettiin ja vilja-alaa vastaavasti lisättiin siten, että nurmiala riitti tarvittavan säilörehun tuottamiseen.

### 2.7.4 Tuotostaso

Tuotostason vaikutus mallinnettiin olettamalla tuotostason ja elopainon välille sama riippuvuus kuin karjantarkkailun tuloksissa: Elopaino (kg) =  $0,031 \times \text{Maito (kg)} + 311$  ( $R^2 = 0,986$ ). Tilan pelto-ala oli 70 ha, fosforiluku 10 mg/l ja typpilannoitus tehtiin ympäristötuen (2007-2013) mukaisesti. Väkilannoitefosforia ei käytetty. Viljelykierrossa oli nurmea (3 vuotta) ja viljaa (ohra:kaura = 1:1). Nurmialaa muutettiin siten, että nurmirehu tuli käytetyksi lehmien syöntikyvyn mukaan. Ruokinta optimoitiin energian ja valkuaisen ruokintasuositusten mukaisesti syöntikyvyn puitteissa lypsykauden keskimääräiselle tuotokselle. Mallinnetut tuotostasot olivat 7000 – 12000 kg/v, 1000 kg:n välein. Uudistus oli 30 % vuodessa. Mallinukset tehtiin joko pitämällä lehmämäärä (50) tai maitomäärä (450 000 l/v) vakiona. Edellisessä tilan tuottama maitomäärä lisääntyi ja jälkimmäisessä lehmämäärä väheni. Väkirehuna olivat tilan oma rehuvilja ja seuraavat ostorehut: ohra, kaura, rypsirouhe, rypsipuriste, soijarouhe, melassileike, ohrarehu, ruokintakalkki ja ruokasuola.

## 2.7.1 Eläintiheys

Eläintiheyden lisääminen ostorehujen käyttöä lisäämällä on yleisin tapa laajentaa tuotantoa maitotiloilla. Lehmämäärän vaikutukset mallinnettiin yllä kuvattun tilan (peltoa 70 ha) olosuhteissa 9000 kg:n tuotostasolla (rasvapitoisuus 43 g/kg, valkuaispitoisuus 34 g/kg). Lehmämäärät olivat 40, 50, 60, 70, 80, 90 ja 100. Peltoala nurmen ja viljan kesken jaettiin siten, että nurmirehua oli ruokinnassa syöntikyvyn mukainen määrä. Lehmämäärän kasvaessa tilan peltoala ei enää riittänyt syöntikyvyn mukaisen nurmimäärän tuottamiseen, jolloin nurmirehua korvattiin lisääntyvässä määrin ostoviljalla eläinmäärän kasvaessa. Karkearehun kuidun minimitarvetta (240 g/kg KA) samoin kuin rehuannoksen tärkkelyspitoisuuden maksimia (250 g/kg KA) ei ylitetty.

## 2.7.5 Ruokintaintensiteetti

Ruokintaintensiteetin vaikutukset fosforin hyväksikäyttöön sekä ylijäämään maitokiloa ja hehtaaria kohti simuloitiin edellä kuvattun tilan olosuhteissa muuttamalla energian (ME) ja ohutsuolesta imeytyvän valkuaisen (OIV) ruokintasuosituksia portaittain. Ruokinta suunniteltiin 9000 kg:n tuotostasolle käyttäen ME:n ja OIV:n suosituksina 0,90-, 0,933-, 0,967-...1,10 -kertaisia suosituksia MTT:n (2006) suosituksiin verrattuna. Tämän jälkeen lisättiin vielä OIV:n suositusta asteittain (1,12, 1,14 ja 1,16) pitämällä ME:n suositus vakiona. Edellinen kuvaa tilannetta, jossa väkirehun määrää rehuannoksessa lisätään ja jälkimmäinen tilannetta, jossa väkirehun valkuaispitoisuutta lisätään korvaamalla viljaa rypsilä. Ruokinnat optimoitiin minimoimalla lehmän tarpeet tyydyttävän rehuannoksen hinta.

# 3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

## 3.1 Mallin testaus tila-aineistolla

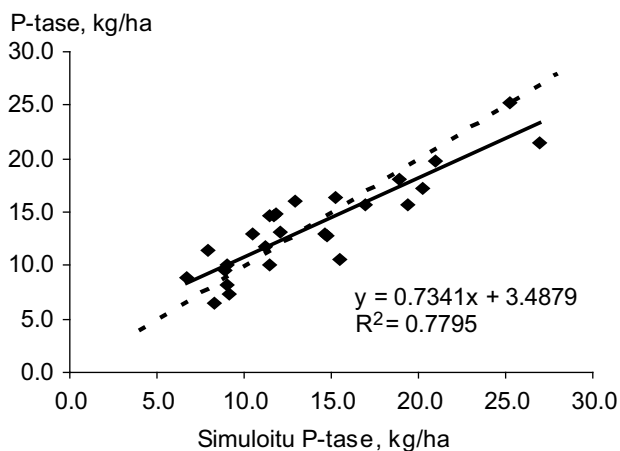
Ravinnekiertomallin testaus kenttäaineistolla osoitti havaittujen ja simuloitujen ravinnetaseiden vastaavan varsin hyvin toisiaan (Kuva 2;  $R^2 = 0,78$  ja  $R^2 = 0,88$  P- ja N-taseelle). Mallin virhe (keskipoikkeama  $y = x$  suoralta) oli 2,5 ja 12,5 kg/ha fosfori- ja typpitaseelle. Kun keskimääräisessä tasossa simuloitujen ja havaittujen taseiden välillä ei ollut merkittävää eroa, johtui virhe suureksi osaksi kulmakerroin- ja satunnaisvirheestä. Testiaineiston maitotilojen havaitut ja simuloidut ravinneylijäämät vastasivat hyvin Virtasen ja Nousiaisen (2005) suu-remmasta tila-aineistosta laskemia ylijäämiä.

Tila-aineistosta (Taulukko 1) simuloitujen tulosten vastaavuus havaittuihin ravinnetaseisiin johtuu ainakin osittain siitä, että mallin ruokintavasteet perustu-

vat todellisen ravinnonsaannin lisäyksen aikaansaamiin maitotuotostavasteisiin lypsylehmillä (Huhtanen ym. 2008). Aiemmin julkaistut mallit (mm. Buysse ym. 2005) perustuvat yleensä ruokinnan osalta taulukkoarvoihin, joiden käyttö johtaa vääjäämättä ruokintavasteiden yliarviointiin, ja ravinnetaseiden aliarviointiin (Huhtanen ym. 2008). Suurin osa tämän mallin virheestä voi selittyä sillä, että peltojen kasvukunto oletettiin kaikilla tiloilla samaksi (kasvukerroin 0,8), vaikka tilojen väliset erot pellon tuottavuudessa rajatullakin alueella ovat hyvin todennäköisiä. On myös mahdollista, että käytetty kasvukerroin (0,8) on keskimäärin hieman liian suuri. Simulointien mukaan tiloille jäi keskimäärin rehukasvien ylijäämä, joka vastasi 7,1 ja 1,0 kg/ha typpeä ja fosforia, eikä tätä otettu huomioon simuloituissa taseissa. Toinen mahdollisuus on, että rehujen varastointitappiot arvioitiin mallissa liian pieniksi (säilörehulle 0,15). Lisäksi niillä tiloilla, joilla on lehmämäärään nähden runsaasti peltoa, voi peltoviljely olla ekstensiivisempää, eikä peltojen kasvukunnon ylläpitoon ja parantamiseen panosteta. Mallissa ei ole laidunkautta mukana, vaan se olettaa ympärivuotisen säilörehuruokinnan. Tämäkin todennäköisesti voi selittää eroa simuloidun ja havaitun ravinnetaseen välillä.

Taulukko 1. Ravinnekiertomallin testaukseen käytetyn tila-aineiston taustatiedot ja laskennalliset ravinnetaseet (n=26)

	Keskiarvo	Min	Maks	Keskihajonta
Pelto, ha	43,2	10,6	87,8	19,61
Väkilannoite N, kg/ha	97,3	51,8	144,0	24,86
Ostorehujen N, kg/ha	33,1	1,4	82,8	18,94
Väkilannoite P, kg/ha	11,0	6,4	20,7	3,30
Ostorehujen P, kg/ha	7,5	1,3	16,6	3,58
Lehmiä, kpl	20,4	4,6	47,5	8,82
Lehmiä, kpl/ha	0,51	0,2	1,00	0,168
Lehmien poisto, %	32,6	4,5	76,8	17,61
Keskituotos, kg/vuosi	8007	4059	10131	1146,4
Maitotuotos, kg/ha	3970	868	7536	1492,9
Havaittu N-tase, kg/ha	104,1	53,3	163,9	30,80
Havaittu P-tase, kg/ha	13,7	6,5	25,3	4,46



Kuva 2. Ravinnekierromallin testaus tila-aineistolla; simuloitujen ja havaittujen ravinnetaseiden yhteys Keski-Pohjanmaan maitotiloilla (n=26, katkoviiva  $y = x$ )

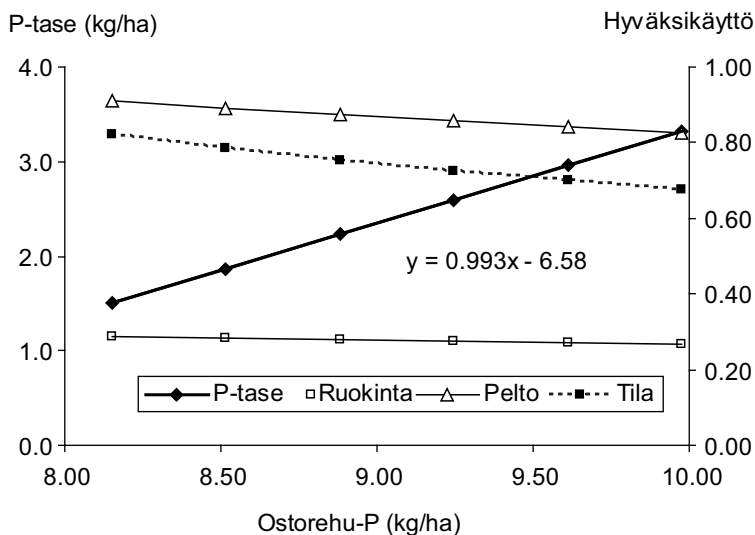
## 3.2 Simulointien tuloksia

### 3.2.1 Kivennäisrehun fosforipitoisuus

Uusimpien tutkimusten mukaan lypsylehmät eivät tarvitse lisäkivennäisfosforia säilörehuruokinnalla, kun väkirehuna on vilja ja rypsirouhe (Yrjänen ym. 2003). Viljan ja rypsirouheen fosforipitoisuus riittää jopa ylittämään lehmän fosforitarpeen (keskituotos 9000 kg/vuosi). Simuloinnissa kivennäisrehun fosforipitoisuuden nousu nollassa 50 g:aan/kg lisäsi litrakohtaisen fosforiylijäämän 2,11 grammasta 2,40 grammaan ja vastaavasti hehtaarikohtaisen ylijäämän 1,5 kilosta 3,3 kiloon (Kuva 3). Ostetun kivennäisrehun määrän lisääntyessä fosforin hyväksikäyttö huononi kaikilla tasoilla (ruokinta, pelto, tila), koska fosforin saannin ylittäessä tarpeen tuotosvastetta ei ole odotettavissa. Myös lannan fosforisisällön lisääntymisen vaikutus satoon ja sitä kautta tilan taseeseen on olematon (sadon lisäys korkeimmalla tasolla 11 RY/ha). Tällä hetkellä kaupan olevien kivennäisrehujen fosforipitoisuudet ovat pieniä (alle 10–15 g/kg) muutamaa poikkeusta lukuunottamatta. Virtasen ja Nousiaisen (2005) tutkimuksessa kivennäisrehun fosforimäärä oli lähes 2 kg hehtaaria tai eläinyksikköä kohti, mikä vastaa simuloinnin korkeinta tasoa.

### 3.2.2 Fosforilannoitus

Fosforilannoituksen satovasteet jäivät maitotiloilla erittäin pieniksi (Kuva 4). Maan fosforiluvun ollessa 5 tai 15 mg/l ensimmäisellä kilolla lannoitefosforia saatava satovaste oli 11,1 ja 4,6 kg KA/ha. Pienet satovasteet johtuvat siitä, että taustalla on yleensä runsaasti 10 kg/ha karjanlannan fosforia (tässä simuloinnissa 14 kg/ha). Lisäksi pitkään jatkuneen lannoitefosforin ja karjanlannan käytön



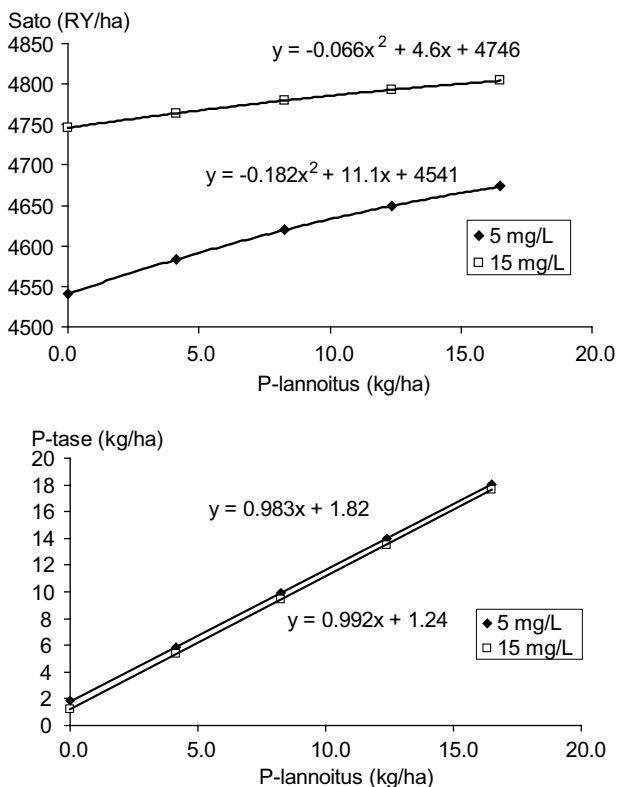
Kuva 3. Simuloitu kivennäisfosforin määrän vaikutus tilan fosforitaseeseen sekä fosforin hyväksikäyttöön ruokinnassa, peltoviljelyssä ja tilalla (ostorehu-fosforin lisäksi kokonaan kivennäisrehua)

seurauksena maitotilojen maan fosforiluvut ovat yleensä varsin korkeita, jolloin satovasteet jäävät vähäisiksi. Fosforilannoituksen lisääminen johti vastaavan suuruiseen lisäykseen tilan fosforitaseessa eli lannoitefosfori jäi kokonaan lisäämään tilan fosforikuormitusta. Mallin simuloima tulos on yhdenmukainen tiloilta kerättyjen aineistojen kanssa. Virtasen ja Nousiaisen (2005) aineistossa lannoitefosforin lisäys kilolla lisäsi tilan fosforitasetta 1,01 kg ja tila-aineistossa vastaavasti 1,08 kg. Simuloinnissa fosforilannoituksen ja fosforitaseen regressi- on leikkauspiste, eli fosforitase (kg/ha), kun lannoitefosforia ei käytetä, oli 1,2–1,8 kg/ha, mikä vastaa hyvin tila-aineistojen vastaavia leikkauspisteitä 2,5 (Virtanen ja Nousiainen, 2005) ja 1,6 (Tuori ym.). Sekä tila-aineistojen että mallisimulointien perusteella suurin syy maitotilojen erittäin korkeisiin fosforitaseisiin on tarpeeton lannoitus. Keskimääräinen noin 10 kg:n fosforilannoitus aiheuttaa yhtä suuren lisäyksen fosforitaseessa kuin tuotantointensiteetin lisäys 5000 kg maitoa/ha (2 g P/kg maitoa). Lannoitefosforin vaikutus tilan fosforitaseeseen on selvästi suurempi kuin ostorehufosforin, koska lannoitefosforin vaikutus satoon on niin marginaalinen, ettei se vähennä ostorehun tarvetta.

Wattiaux'n (2001) esittämän mallin mukaan ylijäämäisen fosforiporttitaseen tulisi vähentää väkilannoitefosforin ostoa maitotilalle, kun ravinnekiertoa säädel- lään järkiperaisesti. Virtasen ja Nousiaisen (2005) raportoima kulmakerroin oli 1,01 kg/ha ja heidän herkkyysanalyysinsä mukaan tilatasetta voidaan muuttaa helpoimmin väkilannoitefosforin määrällä, kuten Wattiaux'n malli olettaa. Samaa lopputulokseen ovat päätyneet myös van Bruchem ym. (1999). Ostetun fosforilannoitemäärän ja fosforitaseen välisen regressioyhtälön leikkauspiste

oli sekä kenttä-aineistoissa että simuloinneissa 1,2 – 2,5 kg/ha, mikä osoittaa, että maitotilalla voitaisiin teoriassa pärjätä nykyistä huomattavasti pienemmällä väkilannoitefosforimäärällä. Testaukseen käytetyssä tila-aineistossa lannoite- ja ostorehun fosforin (kg/ha) välillä oli merkitsevä ( $P=0,03$ ) positiivinen yhteys. Tämä tuli myös esille suuremmassa tila-aineistossa aiemmin (Virtanen ja Nousiainen 2005), ja se osoittaa, ettei ravinteiden hyväksikäyttö ole ollut maitotiloilla kovin suunnitelmallista.

Simuloinnin mukaan (Kuva 4) lisättäessä väkilanta-fosforin käyttöä ostolannoitefosforin käyttö lisäsi tilatasetta 0,98–0,99 kg/ha. Tulos osoittaa, että maitotilalla olisi helppo säädellä fosforin hyväksikäyttöä laskemalla vuosittainen porttitase ja muuttamalla sen mukaan lannoitefosforin käyttömäärää. Tätä menetelyä on ehdotettu myös ulkomaisten tutkimusten johtopäätöksissä (mm. Van Bruchem ym. 1999). Maitotilojen lannoitefosforin käyttö oli tämän tutkimuksen kenttäaineistossa 11,0 kg/ha ja Virtasen ja Nousiainen (2005) tutkimuksessa 9,1 kg/ha. Sekä tila-aineistojen analyysi että mallisimulaatiot osoittavat, että lannoitefosforin käyttöä lisäämällä ei saada lisättyä tilalta myytävien tuotteiden



Kuva 4. Simuloitu lannoitefosforin vaikutus satoon (yläkuva) ja maitotilan fosforitaseeseen (alakuva) maan fosforiluvun ollessa 5 tai 15 mg/l

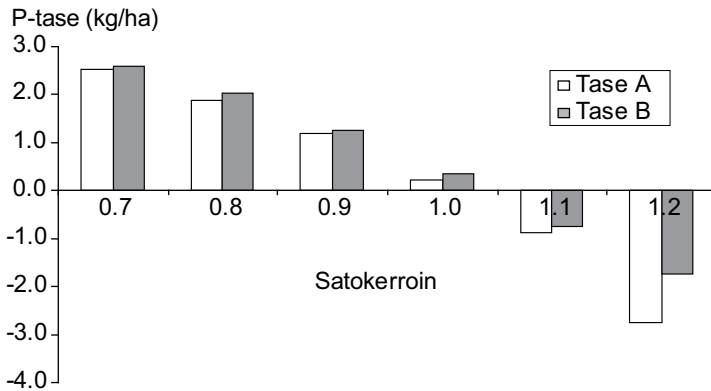
den määrää. Nykyisillä fosforin hinnoilla lannoitefosforin käyttö maitotiloilla on yleensä turhaa, ja aiheuttaa pelkästään kustannuksia sekä lisää tilan fosforikuormitusta.

### 3.2.3 Satotaso

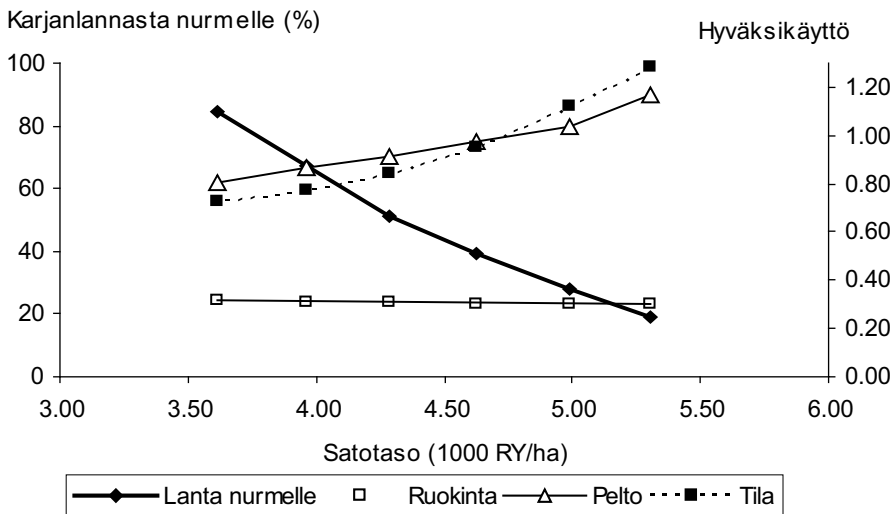
Satotaso voi sääoloista johtuvien tekijöiden lisäksi vaihdella johtuen tilan luontaisista olosuhteista ja viljelijän toimenpiteistä. Vaihtelua aiheuttavia tekijöitä ovat esim. maalaji, maan rakenne, pH sekä vesitalous. Lannoitekäytön pysyessä vakiona on tilan peltojen kasvukunto (satotaso) merkittävä tekijä koko tilan ravinteiden hyväksikäytön kannalta. Ravinnekiertomallissa tätä kuvaa kasvukuntokerroin, joka on 1,0, kun tilalla saadaan keskimääräinen sato (noin 4600 ry/ha). Maitotilalla satotason noustessa ostorehun tarve vähenee tai kasvituotteita voidaan myydä enemmän. Mallisimuloinnissa fosforitase väheni 2,6 kg rehusadon lisääntyessä 1000 RY/ha. Simuloitu rehusato lisääntyi 3600:sta 5300 rehuyksikköön hehtaaria kohti. Tuhannen RY:n sadonlisäyksellä maidontuotannon intensiteettiä voidaan lisätä noin 1300 kg/ha lisäämättä tilan fosforitasetta (P-ylijäämä 2 g/kg maitoa). Intensiivinen tuotanto ei siten välttämättä lisää ravinneylijäämiä, jos ravinteiden hyväksikäyttö rehuksvien tuotannossa on hyvä. Myös Van Bruchem ym. (1999) mallinnuksen mukaan rehuksvien ravinteiden hyväksikäytön tehostaminen on toiseksi tehokkain tapa vaikuttaa tilan fosforitaseeseen.

Satotason noustessa nurmialaa voidaan vähentää lisäämällä rehuviljan viljelyä ja näin vähentää ostoviljan tarvetta. Korkeimmalla satotasolla mallisimuloinnissa viljaa jäi myytäväksi, millä on erittäin positiivinen vaikutus ravinnetaseisiin (Kuva 5). Integroitu maidon- ja kasvintuotanto parantaa ravinteiden hyväksikäyttöä ja kierrätystä verrattuna erikoistuneeseen tuotantoon. Samaan tulokseen päästään käyttämällä maitotilan lantaa kasvitiloilla. Satotason lisääntyessä vilja-alaa voidaan lisätä, jolloin muokattava pelto-ala lisääntyy ja karjanlannan pintalevityksen tarve nurmelle vähenee (Kuva 6). Lantaa oletettiin levitetävän nitraattidirektiivin sallima määrä muokatulle pellolle ja loput nurmelle. Myös typen haihtumistappiot vähenevät, kun lanta voidaan levittää muokattavalle maalle. Satotaso ei vaikuta fosforin hyväksikäyttöön eläintuotannossa, mutta pelto- ja tilatasolla hyväksikäyttö paranee selvästi satotason lisääntyessä (Kuva 6). Hyväksikäytön ollessa yli yhden sato sisälsi enemmän fosforia kuin lannoitteet ja karjanlanta ja vastaavasti tilan hyväksikäytön ollessa yli yhden tuotteissa myytävän fosforin määrä ylitti ostopanosten sisältämän fosforin määrän. Negatiivinen fosforin pelto- ja tilatase ovat mahdollisia, koska rehuksvit käyttävät peltoihin kertynyttä fosforia.





Kuva 5. Satotason vaikutus tilan fosforitaseeseen. Tase A = ylimääräinen rehu myydään tilalta, tase B = ylimääräistä rehua ei myydä



Kuva 6. Pellon satotason vaikutus tarpeeseen levittää lanta nurmelle (osuus tilan pinta-alasta) sekä vaikutus fosforin hyväksikäyttöön ruokinnassa, peltoviljelyssä ja tilalla

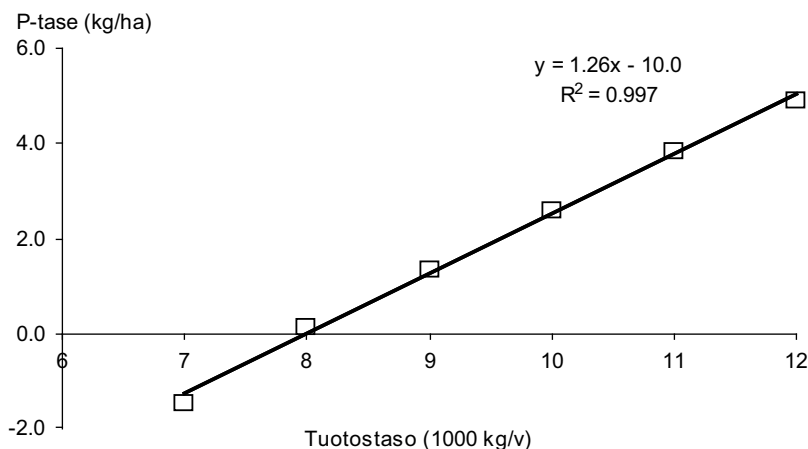
### 3.2.4 Tuotostaso

Tuotostason nousu 7000:sta 12000:en kiloon vuodessa ei vaikuttanut merkittävästi litrakohtaiseen fosforiylijäämään (2,04 – 2,10 g/kg). Periaatteessa fosforiylijäämän pitäisi vähentyä tuotostason noustessa, koska ylläpitoon kuluva rehu jakaantuu suuremmalle tuotostuotokselle. Tuotostason noustessa valkuaisen tarve nousee suhteessa enemmän kuin energian tarve, jolloin valkuaisrehujen osuutta rehuannoksessa on lisättävä. Suomessa se tapahtuu tällä hetkellä käytännössä lisäämällä rypsirehujen osuutta. Rypsi on osoittautunut soijaa paremmaksi valkuaisrehuksi (Shingfield ym. 2003), mutta sen fosforipitoisuus on suuri (13,5 g/kg KA). Lisääntyvää fosforin ylikuokintaa on siten vaikea välttää pyrittäessä-

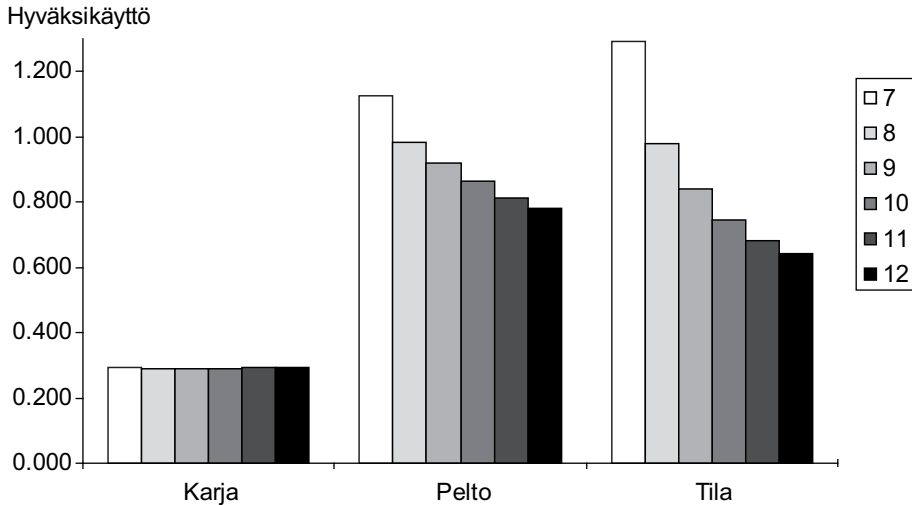
sä ruokkimaan lehmä valkuaisarpeen mukaisesti tuotostason noustessa. Litra-kohtaista fosforyylijäämää voitaisiin vähentää korvaamalla rypsi soijalla, mutta rehukustannus ja typpiylimäärä lisääntyisivät.

Mallinnukset perustuivat olettamukseen, että rehun tarve lisääntyy ruokintasuosituksen mukaisesti lehmien perinnöllisen tuotantopotentiaalin lisääntyessä. Karjantarkkailun rehunkulutustietojen perusteella lisä-RY on vuosina 2000–2007 tuottanut 1,10 kg energiakorjattua maitoa (EKM) ja otettaessa lisääntyneen painon aiheuttama ylläpitorehun lisäys huomioon lisäys oli 1,20 kg EKM/RY. Ruokintasuosituksen mukaan RY:n tuotosvaste on noin 2 kg EKM, kun otetaan huomioon rehuannoksen sulavuuden huononeminen korkeilla ruokintatasoilla. Karjantarkkailun huono lisäenergian tuotosvaste viittaa ruokintaintensiteetin lisääntymiseen, joka yhdessä lehmien geneettisen tuotostason nousun kanssa on lisännyt keskituotoksia hyvin nopeasti. Karjantarkkailun tuotosvas- teiden perusteella on oletettavaa, että litra-kohtainen fosforyylijäämä on noussut viimeisen 10-vuoden aikana etenkin, kun valkuaisrehujen käyttö on voimak- kaasti lisääntynyt.

Koska tuoteyksikkökohtainen fosforyylijäämä ei oleellisesti muutu tuotostason noustessa, hehtaari-kohtainen ylijäämä nousee lineaarisesti tuotostason nous- tessa ja lehmämäärän pysyessä ennallaan (Kuva 7). Mallinnetut fosforyylijää- mät ovat varsin pieniä verrattuna tämän tutkimuksen tila-aineistoon (13,7 kg/ ha) ja Virtasen ja Nousiaisen (2005) tutkimukseen, jossa fosforitase oli keski- määrin 11,7 kg/ha. Ero johtuu pääasiassa lannoitefosforista, jota ym. tutkimuk- sissa käytettiin 9–11 kg/ha ja osittain kivennäisfosforista. Tuotostason ollessa 8000 – 9000 kg/v ostorehun mukana tilalle tulleen fosforin määrä vastasi käy- tännön aineistojen tuloksia.



Kuva 7. Tuotostason vaikutus tilan fosforitaseeseen.



Kuva 8. Tuotostason (7000 – 12 000 kg/v) vaikutus fosforin hyväksikäyttöön ruokinnassa, peltoviljelyssä ja tilalla.

Tuotostason nousu 1000 kilolla vuodessa lisäsi fosforitasetta keskimäärin 1,26 kg/ha vuodessa, eli nousu on varsin kohtuullinen suhteessa tuotostason lisäyksen taloudelliseen merkitykseen. Virtasen ja Nousiaisen (2005) tila-aineistoon perustuvassa tutkimuksessa tuotostason regressiokerroin oli sama kuin mallin ennustama, mutta leikkauspiste huomattavasti korkeampi (7,2 kg/v). Tuotostason merkitystä arvioitaessa on syytä huomata mallinnusten perustuvan oletukseen, että perinnöllisen tuotostason noustessa ravintoaineiden tarve lisääntyy nykyisten ruokintasuositusten mukaisesti.

Tuotostason nousu ei vaikuttanut fosforin hyväksikäyttöön ruokinnassa, mutta hyväksikäyttö huononi sekä peltoviljelyssä että tilatasolla (Kuva 8). Tämä johtuu siitä, että lannan fosforimäärä lisääntyy lähes samassa suhteessa kuin ostorehun fosfori, mutta sen vaikutukset satoon ovat hyvin pieniä. Vaikka tuotoksen nousu parantaisi fosforin hyväksikäyttöä ruokinnassa, tilatasolla hyväksikäyttö huononisi ja fosforitase kasvaisi. Tämä osoittaa sen, että yhden osakokonaisuuden optimointi ei välttämättä johda parempaan hyväksikäyttöön tilatasolla.

Tilanteessa, jossa maitokiintiö rajoittaa tuotantoa, vaihtoehtona on saman maitomäärän tuottaminen eri lehmämäärillä tuotostason vaihdella. Tuote- (1,95 – 2,17 g/kg) ja hehtaarikohtaiset (0,6 – 1,8 kg/ha) fosforiylijäämät hieman lisääntyisivät tuotettaessa sama maitomäärä pienemmällä lehmämäärällä ja lisäämällä tuotosta. Tämä johtuu siitä, että väkirehun osuutta ja valkuaispitoisuutta on lisättävä ravintoaineiden tarpeen tyydyttämiseksi syöntikyvyn puitteissa. Tässäkin on huomattava, että lehmien tuotoksen oletettiin lisääntyvän

ruokintasuositusten mukaisesti. Käytännössä tuotostaso vaikuttaa varsin vähän tietyn tilalla tuotetun maitomäärän aiheuttamaan fosforikuormitukseen.

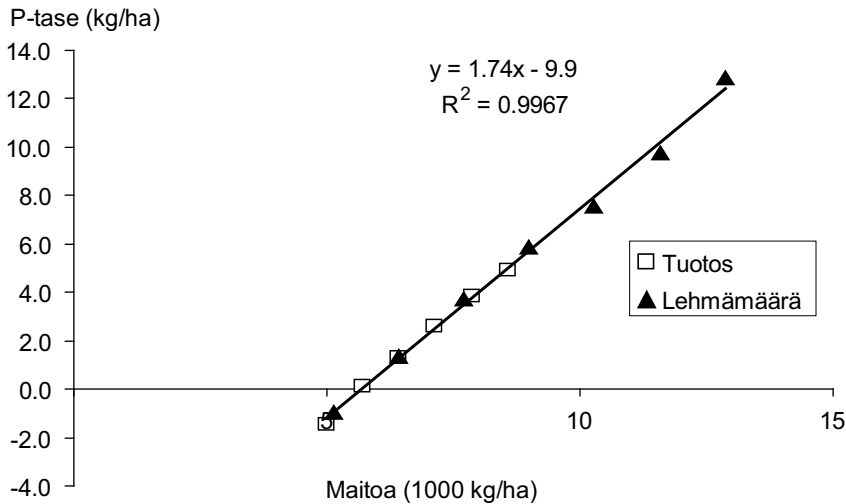
### 3.2.5 Eläintiheys

Eläintiheys (lehmä/ha) on tuotostason (kg/lehmä) ohella toinen tuotantointensiteettiä kuvaava tekijä. Kuten odotettua, tilan fosforiylijäämä lisääntyy, kun eläinmäärä kasvaa peltoalan pysyessä vakiona. Hehtaarikohtainen fosforiylijäämä lisääntyi 15,5 kg/lehmä. Muutos on suurempi kuin Virtasen ja Nousiaisen (2005) tutkimuksessa, jossa vastaava luku oli 9,3 kg. Eron selittävät simuloinnin korkeampi tuotostaso (9000 vs 7600 kg/v) ja se, että eläinyksikköä kohti laskettaessa hiehojen ja lihakarjan kerroin (0,67) on liian suuri kuvaamaan fosforiylijäämien eroa (lehmien rehunkulutus >1,5-kertainen ja fosforin hyväksikäyttö ruokinnassa parempi). Virtanen ja Nousiainen (2005) laskivat muutoksen eläinyksikköä kohti, kun se tässä laskettiin lypsylehmää kohti.

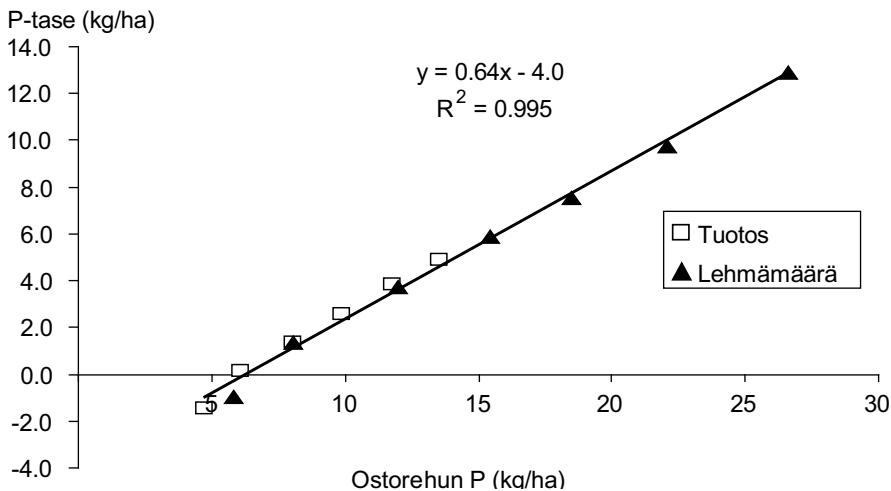
Kun maidon ”hehtaari tuotos” lisääntyi 1000 kg, fosforiylijäämä lisääntyi 1,74 kg. Intensiteetin lisääminen joko tuotostasoa (eläinmäärä vakio) tai eläinmäärää (tuotos vakio) nostamalla lisäsi fosforiylijäämää samalla tavalla (Kuva 9). Lyhyellä tähtäyksellä tuotostason lisääminen ruokintaintensiteettiä nostamalla lisäsi ylijäämää enemmän, koska tuotosvasteet ovat pienempiä kuin ruokintasuositukset olettavat. Virtasen ja Nousiaisen (2005) tila-aineistoon (n = 319) perustuvassa analyysissä maidon ”hehtaari tuotoksen” nousu kilolla lisäsi fosforiylijäämää 0,0017 kg eli saman verran kuin mallin simuloima tulos. Leikkauspiste on mallisimuloinnissa huomattavasti pienempi johtuen em. eroista lannoite- ja kivennäisfosforin käytössä. Nämä lisäävät panosta mutta eivät tulosta.

Kuvan 9 tulokset viittaavat siihen, että hehtaarikohtainen maitotuotos olisi huomattavasti parempi mittari kuvaamaan tuotannon intensiteettiä ja ympäristökuormitusta kuin eläintiheys.

Ostorehun fosforin lisääntyessä tilan fosforiylijäämä lisääntyi simuloinnissa 0,64 kg/lla (Kuva 10) eli ostorehun fosforin näennäinen hyväksikäyttö oli 0,36. Tämä on parempi kuin ruokinnan keskimääräinen fosforin hyväksikäyttö (0,28–0,29). Tämä johtuu siitä, että eläinmäärän suurentuessa lisääntyvä osuus pinta-alasta joudutaan käyttämään nurmiviljelyyn, jolloin keskimääräinen sato nousee. Tämä vähentää ostorehun tarvetta verrattuna tilanteeseen, jossa nurmi-alaa ei lisättäisi lehmämäärän ja/tai tuotostason noustessa. Virtasen ja Nousiaisen tutkimuksessa ostorehun fosfori lisäsi tilan fosforitasetta 0,80 kg/ha per kg. Ero tila-aineiston ja simuloinnin välillä johtuu ainakin osittain siitä, että tila-aineistossa ostorehu sisälsi kivennäisfosforia ja lannoitefosforin ja ostorehu-fosforin välillä oli lievä positiivinen yhteys.



Kuva 9. Maidontuotannon intensiteetin (kg maitoa/ha) vaikutus tilan fosforiylijäämään. Tuotantoa lisättiin joko keskituotosta nostamalla (□; vaste ruokintasuositusten mukainen) tai lehmämäärää lisäämällä (▲)



Kuva 10. Ostorehufosforin ja tilan fosforitaseen riippuvuus, kun tuotanto-intensiteettiä nostetaan keskituotosta (□) tai eläinmäärää lisäämällä (▲)

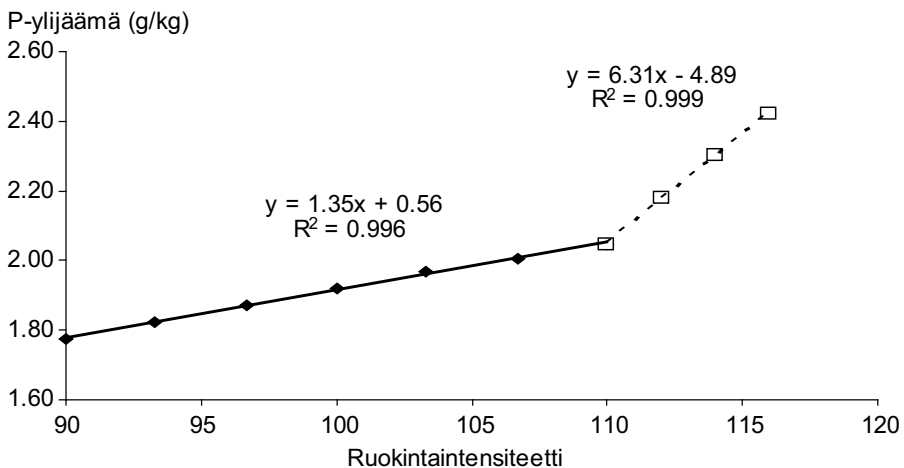
### 3.2.6 Ruokintaintensiteetti

Koska ruokintaintensiteetti vaikuttaa tuotoksiin, toteutuneiden intensiteettien vaihtelu oli huomattavasti pienempi kuin suunnitellun; esim. toteutuneen energiaruokinnan intensiteetti vaihteli välillä 97 – 106 %. Toteutuneet intensiteetin muutokset poikkeavat ruokintasuunnitelmien intensiteetistä, koska ruokinnan

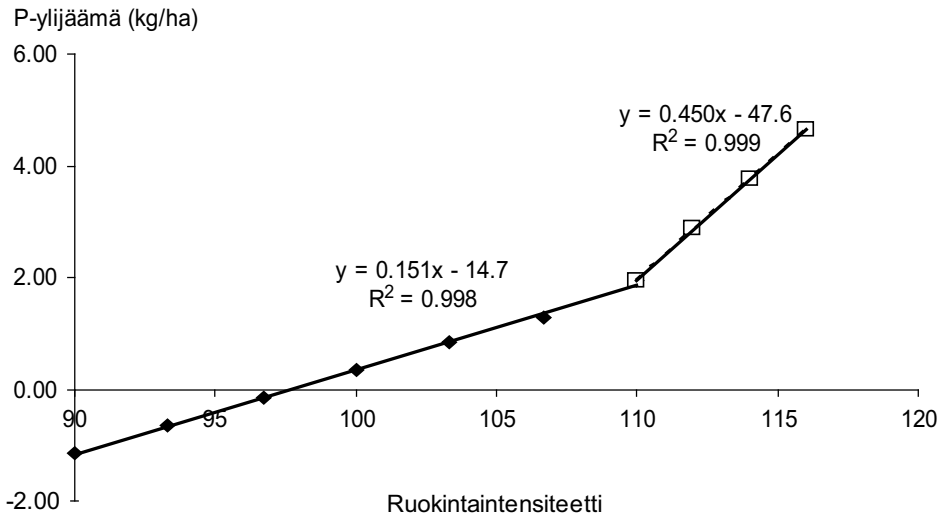
muutos vaikuttaa tuotokseen. Nostettaessa sekä energian että valkuaisen ruokintaintensiteettiä suurin muutos oli viljan määrän lisääntyminen rypsirouheen lisääntyessä vain hieman. Nostettaessa pelkästään valkuaisen suositusta rypsin määrä lisääntyi viljan kustannuksella. Malli ennustaa säilörehun syönnin kasvavan lisääessä väkirehun valkuaista.

Maitokiloa kohti fosforylijäämä nousi lievästi, kun sekä energia- että valkuaisruokintaa lisättiin (Kuva 11). Lisättäessä pelkästään valkuaisruokinnan intensiteettiä fosforylijäämä lisääntyi selvästi nopeammin. Tämä johtuu siitä, että vähemmän (n. 4 g/kg KA) fosforia sisältävää viljaa korvautui erittäin runsaasti fosforia (n. 13 g/kg KA) sisältävällä rypsilä. Tuotettua lisämaitoa kohti fosforylijäämä maitokiloa kohti oli 4–5 g, kun sekä valkuaisen että energian ruokintaintensiteettiä kasvatettiin. Kun lisättiin pelkästään valkuaisruokintaa, vastaava luku oli 13–17 g/kg, eli viimeisen maitokilon aiheuttama fosforikuormitus oli lähes 10-kertainen verrattuna suositusten mukaisella ruokinnalla keskimäärin. Väkirehun valkuaispitoisuus nousi arvosta 170 arvoon 210 g/kg KA, kun lisättiin pelkästään valkuaisen ruokintaintensiteettiä, eli tasot vastaavat käytännön maitotilojen väkirehujen valkuaispitoisuuksia. Maitotuoton ja rehuuoton välinen erotus lehmää kohti nousi aina korkeimmalle valkuais- ja energia- tasolle saakka; tosin viimeisen lisäyksen taloudellinen vaikutus oli varsin pieni (16 euroa/lehmä vuodessa).

Tilan fosforylijäämä hehtaaria kohti kasvoi 4,3 kg/1000 kg maitoa, kun ruokintaintensiteettiä nostettiin lisäämällä keskimäärin noin 170 g/kg KA sisältävää väkirehua, joka koostui rehuviljasta ja rypsirouheesta (Kuva 12). Nostettaessa pelkästään valkuaisruokinnan intensiteettiä vastaava fosforylijäämän lisäys oli noin 4-kertainen (13.7).



Kuva 11. Ruokintaintensiteetin vaikutus tuotekohtaiseen fosforylijäämään. Tasolle 110 saakka lisättiin sekä energia- että valkuaisruokintaa (OIV); tämän jälkeen pelkästään valkuaista



Kuva 12. Ruokintaintensiteetin vaikutus tilan fosforitaseeseen. Tasolle 110 saakka lisättiin sekä energia- että valkuaisruokintaa; tämän jälkeen pelkästään valkuaista

## 4 Yhteenveto

Tulokset osoittivat, että tutkimuksessa kehitetyllä mallilla estimoidut fosforin ja typen porttitaseet korreloivat hyvin havaittujen tilataseiden kanssa (P:  $R^2 = 0,78$  ja N:  $R^2 = 0,88$ ). Simuloidut riippuvuussuhteet vastasivat hyvin tila-aineistoissa havaittuja riippuvuuksia. Mallilla simuloitujen ja havaittujen tulosten perusteella tilalle ostettu fosforilannoitekilo lisäsi fosforiylijäämää kilolla eli ostolannoitteen fosfori jää kokonaan lisäämään tilan fosforiylijäämää ja -kuormitusta. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että ostorehujen ja lannan fosforia ei huomioida riittävästi viljeltävien kasvien lannoituksessa. Positiivinen riippuvuus ostolannoitefosforin ja ostorehufosforin välillä viittaa siihen, että tilojen ravinteiden käyttö ei ole ollut kovin suunnitelmallista. Tila-aineistojen erittäin suuret taseet, etenkin suhteessa tuotettuun maitomäärään, voidaan laskea reilusti alle puoleen luopumalla tai ainakin runsaasti vähentämällä lannoitefosforin käyttöä. Nykyisillä fosforin hinnoilla myös taloudelliset seikat puoltavat lannoitefosforin käytön vähentämistä maitotiloilla.

Kivennäisfosforin käyttö maitotiloilla on tarpeetonta ruokinnan perustuessa säilörehuun ja viljaan. Jo nämä perusrehut takaavat suositukset täyttävän ruokinnan. Fosforiruokinnan suurin ongelma onkin, miten välttää ylikuokinta, kun valkuais täydennys tehdään rypsirehuilla, joka sisältää runsaasti fosforia. Kivennäisrehujen fosforipitoisuudet ovat nykyään pieniä, minkä vuoksi fosforitasetta ei juuri enää voida laskea kivennäisruokintaa tarkentamalla.

Keskituotoksen nostaminen on teoriassa tehokas keino lisätä tuotannon intensiteettiä siten, että ympäristökuormitus lisääntyy vain vähän. Tämä toteutuu edellytyksellä, että tuotos lisääntyy ruokintasuositusten ennustamalla tavalla rehupanostusta lisättäessä. Karjantarkkailun rehunkulutustiedot viittaavat kuitenkin siihen, että lisääntynyt keskituotos ei vastaa RY-saannin perusteella odotettua tuotoksen lisäystä. Tämä ja lisääntynyt valkuaisruokinta viittaavat myös siihen, että tuoteyksikkökohtainen fosforiylilijäämä on todennäköisesti lisääntynyt viime vuosina.

Tuotantointensiteetin (maitoa/ha) nostaminen lisäämällä lehmämäärää vaikuttaa fosforitaseeseen suunnilleen saman verran kuin vastaava intensiteetin lisäys keskituotoksen nousun tuloksena. Viime vuosikymmenen kehitys rehunkulutuksessa viittaa siihen, että fosforitaseen kannalta lehmämäärän lisäys on keskituotoksen nostoa edullisempi vaihtoehto ympäristön kannalta.

Ruokintaintensiteetin nostolla (eläinaineksen pysyessä samana) voidaan lisätä maitotilan intensiteettiä, mutta fosforitaseen kannalta lehmämäärän kasvattaminen olisi selvästi edullisempi vaihtoehto. Tämä johtuu siitä, että intensiteetin lisäyksellä saavutetun lisätuotoksen fosforiylilijäämä on selvästi keskimääräistä ylijäämää suurempi. Erityisen haitallista on pelkästään valkuaisruokinnan intensiteetin lisäys, sillä fosforitaseen nousu voi olla yli 10 kg/ha tuhatta maitokiloa/ha kohti.

Fosforiylilijäämän vähentämisen kannalta peltojen kasvukunto ja satotaso ovat merkittäviä tekijöitä. Saataessa suurempi sato samalla panostuksella ostorehujen tarve vähenee tai kasvituotteita voidaan myydä enemmän. Satotason noustessa ostoviljaa on mahdollista korvata omalla rehuviljalla. Tämä parantaa karjanlannan tyypen hyväksikäyttöä rehuntuotannossa, kun tyypen haihtumistappiot vähenevät, ja vähentää ympäristön kannalta haitallista lannan levitystä nurmen pintaan.

Yhteenvetona voi todeta, että Suomen maitotilojen keskimäärin suuret fosforitaseet on helppo vähentää tasolle 2–3 kg/ha kustannuksia säästäen, kun luovutaan väkilannoitefosforin käytöstä. Mallisimulointien perusteella suunnitelmallisella ravinteiden ja ravintoaineiden käytöllä on täysin mahdollista tuottaa Suomessa 7000 – 8000 kg maitoa/ha fosforitaseen ollessa 5–6 kg/ha eli puolet nykyisestä. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tutkimushankkeessa kehitetty maitotilan kasvinviljelyn ja maidontuotannon integroiva systeemimalli on hyvin käyttökelpoinen työkalu pyrittäessä löytämään tehostamiskeinoja ravinteiden hyväksikäytölle.

### **Kiitokset**

Mallin kehittäminen tehtiin osana ”Suomen kotieläintalouden fosforikierto – tila- ja aluetason käytäntöjen optimointi” –hanketta, ja työtä rahoittivat MMM, Kemira Grow-How Oyj, Valio Oy ja MTT. Kiitämme rahoittajia yhteistyöstä.



## 5 Kirjallisuus

- ARC 1980. Agricultural Research Council. The nutrient requirements of Ruminant livestock. -Commonwealth Agricultural Bureaux and Agricultural Research Council, Farnham Royal. 351 s.
- Buysse, J., Van Huylbroeck, G., Vanslebrouck, I. ja Vanrolleghem, P. 2005. Simulating the influence of management decisions on the nutrient balance of dairy farms. *Agricultural Systems* 86: 333–348.
- Ekholm, P, Turtola, E., Grönroos, J., Seuri, P. ja Ylivainio, K. 2005. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 110 (3–4): 266–278.
- Ekholm, P., Granlund, K., Kauppila, P., Mitikka, S., Niemi, J., Rankinen, K., Räike, A. ja Räsänen, J. 2007. Influence of EU policy on agricultural nutrient losses and the state of receiving surface waters in Finland. *Agricultural and Food Science* 16: 282–300.
- MMM, 2004. Horisontaalisen maaseudun kehittämissuunnitelman väliarviointi. Manner-Suomi. *MMM:n julkaisuja 1/2004*. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. ISSN 1238–2531.
- MTT, 2006. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset –verkkopalvelu. Saatavilla: [www.agronet.fi/rehutaulukot](http://www.agronet.fi/rehutaulukot).
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. ja Rinne, M. 2008. Lypsylehmien rehuannoksen taloudellinen optimointi tuotosvasteiden perusteella. *Maataloustieteen Päivät 2008*.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J.I., Rinne, M. Kytölä, K. ja Khalili H. 2008. Utilization and partitioning of dietary nitrogen in dairy cows fed grass silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 91:3589–3599.
- Huhtanen P., Nousiainen, J.I. 2006. Dynaaminen karjamalli uudistuseläinten tarpeen laskentaan. In: Toim. Anna-Maija Heikkilä. *Kestävä lehmä: lypsylehmien poiston syyt ja kestävyden taloudellinen merkitys*. MTT:n selvityksiä 112: 41–47. <http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts112.PDF> Verkkojulkaisu päivitetty 2.5.2006.
- Nousiainen, J.I. 2006. Lypsylehmien poiston syyt. In: Toim. Anna-Maija Heikkilä. *Kestävä lehmä : lypsylehmien poiston syyt ja kestävyden taloudellinen merkitys*. MTT:n selvityksiä 112: 9–26. <http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts112.pdf>. Verkkojulkaisu päivitetty 2.5.2006.
- Rinne, M., Huhtanen P. ja Nousiainen, J. 2008. Säilörehun ja koko rehuannoksen syönti-indeksit auttavat lypsylehmien ruokinnan suunnittelussa. *Maataloustieteen Päivät 2008*.

- Räike, A., Gralund, K. ja Ekholm, P. 2004. Maatalouden ravinnekuormitus ja sen vesistövaikutukset - arviointi seuranta-aineistojen avulla. Ravinnekuormitus. In: Eila Turtola ja Riitta Lemola (eds.). Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2 Osahankkeiden 2–7 väliraportit 2000–2003. Maa- ja elintarviketalous 59: 97–109.
- Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H., Rinne, K. 1995. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977–1994. Tiedote 16/95. Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen. (In Finnish with an English summary).
- Salo, T., Lemola, R., Esala, M. 2007. National and regional net nitrogen balances in Finland in 1990–2005.
- Sharpley, A.N., Daniel, T., Sims, T., Lemunyon, J., Stevens, R., ja Parry, R. 2003. Agricultural Phosphorus and Eutrophication. 2nd ed. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS–149, 44 pp. Available at [www.ars.usda.gov/np/index.html](http://www.ars.usda.gov/np/index.html).
- Shingfield, K., Vanhatalo, A., Huhtanen, P. 2003. Comparison of heat-treated rapeseed expeller and solvent-extracted soya-bean meal protein supplements for dairy cows given grass silage-based diets. *Anim. Sci.* 77: 305–317.
- Uusitalo, R. ja Aura, E. 2005. A runoff simulation study on the relationship between soil test P versus dissolved and potentially bioavailable particulate phosphorus in runoff. *Agricultural and Food Science* 14: 335–345.
- Uusitalo, R., Turtola, E., Grönroos, J., Kivistö, J., Mäntylähti, V., Turtola, A., Lemola, R. ja Salo, T. 2007. Finnish trends in phosphorus balances and soil test phosphorus. *Agricultural and Food Science* 16: 301–316.
- Van Bruchem, J., Schiere, H. ja van Keulen, H. 1999. Dairy farming in the Netherlands in transition towards more efficient nutrient use. *Livestock Production Science* 61: 145–153.
- Wattiaux, M. A. 2001. A simple model to optimize feeding programs and crop rotation of dairy farms. In: Proceedings, third conference on nutrient management challenges in livestock and poultry operations: international and national perspectives, Babcock Institute, UW-Madison, Madison, WI, 54–69.
- Virtanen, H. ja Nousiainen, J. 2005. Nitrogen and phosphorus balances on Finnish dairy farms. *Agricultural and Food Science in Finland* 14, (2):166–180.
- Yrjänen, S., Nousiainen, J.I., Kytölä, K., Khalili, H. ja Huhtanen, P. 2003. Ruokinnalliset mahdollisuudet parantaa fosforin hyväksikäyttöä maidontuotannossa. In: Jaana Uusi-Kämpä, Markku Yli-Halla ja Kaarina Grék (eds.). *Lypsykarjataloudesta tulevan ympäristökuormituksen vähentäminen*. Maa- ja elintarviketalous 25: 13–25.

# Turkiseläintuotannon fosforikierron mallintaminen

Teppo Rekilä<sup>1)</sup>, Nita Koskinen<sup>1)</sup>, Pekka Huhtanen<sup>2)</sup>, Päivi Pylkkö<sup>1)</sup>, Kirsi Kupsala<sup>1)</sup> ja Kari Ylivainio<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Turkistalous, PL 44, 69101 Kannus, etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>2)</sup> MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kotieläintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>3)</sup> MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

## Tiivistelmä

Turkistuotannon aiheuttama vesistökuormitus on valtakunnan tasolla vähäistä, mutta tuotannon keskittyminen pienelle alueelle Pohjanmaalle aiheuttaa alueellisia vesiensuojeluriskejä. Turkiseläinten lannassa on runsaasti fosforia muiden kotieläinten lantaan verrattuna, koska rehun raaka-aineina käytetään luupitoisia teurassivutuotteita, lihaluujauhoa ja rehukalaa. Suurin osa rehun fosforista päättyy lantaan. Tällä hetkellä turkiseläinten ruokinnassa on huomattavaa fosforiyliruokintaa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli rakentaa turkistilamalli, jolla eri toimenpiteiden vaikutukset tilan fosforitaseeseen ja sitä kautta kuormituspotentiaaliin voitiin arvioida. Turkistilamallin avulla kuvattiin kolmen eri fosforilähteenä käytetyn rehun raaka-aineen (lihaluujauho LLJ, lihajauho LJ, höyhenjauho HJ) sekä kahden optimointivaihtoehdon (optimointi pienimmän rehunkustannuksen mukaan ja optimointi rehun sisältämän fosforimäärän mukaan) ja pentutuloksen (4, 5, 6) vaikutus esimerkkitalan fosforitaseeseen. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin LLJ:n, LJ:n ja HJ:n vaikutus siniketun sonnan määrään kasvatuskautena sekä em. rehuraka-aineiden vaikutus sonnan kokonaisfosforiin ja sen liukoisuuteen.

Rehun koostumus vaikutti kuiva-aineen sulavuuteen, sonnan määrään, sen fosforipitoisuuteen ja fosforin liukoisuuteen. LLJ-rehu sisälsi paljon tuhkaa ja tuhkan sulavuus oli huono, sonnan fosforipitoisuus korkea, ja fosfori oli heikko-liukoista. Tutkimuksen perusteella HJ on turkistuotannon fosforikuormituksen kannalta käytetyistä raaka-aineista paras, sillä sen tuhkapitoisuus oli alhainen, sulavuus hyvä, ja sonnan fosforipitoisuus alhainen. Höyhenjauho myös lisäsi fosforin liukoisuutta sonnassa.

Rehun fosforipitoisuuden optimointi laski fosforiylijäämää (sonnan sisältämää fosforimäärää) n. 20% suhteessa pienimmän rehukustannuksen mukaan tehtyyn optimointiin. Fosforioptimointimallissa yhden gramman fosforivähennys

rehun kuiva-ainekilossa nosti rehun hintaa 3 snt kg ka<sup>-1</sup>. Fosforioptimointi paransi fosforin hyväksikäyttöä tilatasolla, mutta nosti lannan sisältämän typen määrää ja heikensi typen hyväksikäyttöä. Fosforioptimointi luonnollisesti vähensi tarvetta viedä lantaa pois tilalta.

HJ-rehu sisälsi vähiten fosforia, mutta eniten typpeä, kun taas LLJ-rehu sisälsi eniten fosforia ja vähiten typpeä. Rehun hinta vaihteli tuotantajaksojen välillä, mutta LJ-rehu oli keskimäärin halvinta. HJ-rehun valitseminen vähensi nahkakohtaista fosforiylijäämää. Pentutuloksen paraneminen vähensi simuloinneissa nahkan rehukustannusta, typen ja fosforin ylijäämää nahkaa kohti ja lannan sisältämää typen ja fosforin määrää, koska ravinteiden nahkakohtainen hyväksikäyttö parani.

Tutkimuksessa käytetty turkistilamalli on käyttökelpoinen työkalu ravinteiden hyväksikäytön tehostamisessa ja turkistilan fosforitaseen parantamisessa. Mallin avulla rehun fosforipitoisuuden vähentämisen kustannus voidaan laskea. Malli vaatii kuitenkin vielä muokkausta käytettävyyden parantamiseksi. Jatkotutkimuksissa mallia voisi laajentaa kattamaan turkistuotannon fosforitasetta laajemmin kuin tilatasolla.

---

*Avainsanat: turkistila, fosfori, ravinnekierto, mallinnus, sinikettu*

---

# Modelling phosphorus cycle in fur animal production

Teppo Rekilä<sup>1)</sup>, Nita Koskinen<sup>1)</sup>, Pekka Huhtanen<sup>2)</sup>, Päivi Pylkkö<sup>1)</sup>, Kirsi Kupsala<sup>1)</sup> and Kari Ylivainio<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> MTT, Agrifood Research Finland, Animal Production Research, Monogastric Research, P.O.BOX 44, 69101 Kannus, Finland, [firstname.lastname@mtt.fi](mailto:firstname.lastname@mtt.fi)

<sup>2)</sup> MTT Agrifood Research Finland, Animal Production Research, Milk and Beef Production, 31600 Jokioinen, Finland, [firstname.lastname@mtt.fi](mailto:firstname.lastname@mtt.fi)

<sup>3)</sup> MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, Soil and Plant Nutrition, 31600 Jokioinen, Finland, [firstname.lastname@mtt.fi](mailto:firstname.lastname@mtt.fi)

## Abstract

Nutrient load from fur farming into the environment is marginal in the national level but as fur farms are concentrated in the western part of Finland, fur production poses regional water pollution risks. While feed of fur animals contains slaughter house offals, fish offals, fish, meat and bone meal, the manure contains high amounts of phosphorus. Overfeeding increases the phosphorus content of manure.

The aim of the project was to describe the phosphorus (P) cycle on fur farm and build a model in which different practices and factors affecting the cycle could be demonstrated. The factors were: (1) quality of the feed, with three different P containing ingredients (meat bone meal, meat meal, feather meal), (2) two optimisation strategies (the feed costs and the P content of the feed) and (3) breeding result (cubs per artificially inseminated female: 4,5,6). The effects of the different factors on the P balance of the fur farm were estimated with the model.

When using P content as a optimisation factor, the feed contained 20 % less P than using feed prize as a optimisation factor. Decreasing one g P kg<sup>-1</sup> dry matter increased the feed prize by 3 snt kg<sup>-1</sup> dry matter. The P optimisation of the feed as well as improvement in the breeding result decreased the amount of P to be delivered from the farm. The model proved to be a useful tool for describing and improving P utilization of fur farms.

The secondary objective of the study was to investigate empirically the effects of dietary meat bone meal, meat meal and feather meal on the amount of manure and the solubility of dietary ash during the growth period of farmed blue foxes.

The ingredients of the feed affected the digestibility of the feed, the amount of P and P content in manure, and the solubility of P. To reduce the environmental load of fur farming, it would be ideal to use raw materials in the feed which have low ash content and good digestibility. Our experiment implies that regarding P losses feather meal would be the most suitable raw material.

---

*Key words: fur farm, phosphorus, modelling, phosphorus cycle, blue fox*

---

# 1 Johdanto

Fosfori on merkittävin vesistöjä kuormittava ravinne, jonka kuormituksesta noin 60 % aiheutuu maataloudesta. Vesistöjen kokonaisfosforikuormituksesta arvioidaan noin 1,1 % olevan peräisin turkistiloilta, mikä vastaa 45 tonnia fosforia vuodessa (Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu 2006). Vaikka kuormitus on valtakunnan tasolla vähäistä, se voi kuitenkin aiheuttaa vesiensuojeluongelmia alueellisesti, etenkin Keski- ja Etelä-Pohjanmaalla, jonne turkistuotanto on pääosin keskittynyt. Lisäksi turkistiloja sijaitsee yhä vedenottoon tärkeillä pohjavesialueilla, mikä lisää pohjaveden pilaantumisriskiä näillä alueilla (Leivonen 2005).

Kymmenen eniten turkiksia tuottavan kunnan alueella on peltoa noin 92 000 ha, ja näissä kunnissa syntyy vuosittain turkiseläinperäistä lantafosforia kunnan koko peltoalaa kohti keskimäärin 21 kg ha<sup>-1</sup>. Turkiseläimet on ruokittu vuosikymmenien ajan hyvin tuhkapitoisella, runsaasti fosforia sisältävällä rehulla. Pohjanmaa on siten toiminut koko Suomen kotieläintuotannon fosforikierrosta peräisin olevan ylijäämäfosforin sijoituspaikkana. Keväällä 2003 mitattiin 82 peltolohkoa käsittävästä otanta-aineistosta lähes 50 %:ssa näytteistä kohonneita viljavuusfosforilukuja ( $\geq 30$  mg l<sup>-1</sup>) (Uusitalo ym. 2006). Aineistoon oli valittu peltolohkoja, jotka olivat saaneet turkiseläinlantaa jopa vuosikymmenien ajan.

Vuonna 1998 laaditun vesiensuojelun tavoiteohjelman tavoitteena oli puolittaa fosfori- ja typpipäästöt vuoden 1993 tasosta vuoteen 2005 mennessä (Ympäristöministeriö 1998). Turkistalouden tavoitteena oli vähentää päästöjä 55 %. Valtioneuvoston periaatepäätöksessä (2006) Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015 tavoitteena on vähentää turkistilojen fosforikuormitusta mm. vähentämällä rehujen fosforipitoisuutta. Tämän tavoitteen toteutuminen edellyttää, että turkiseläinkasvatuksen fosforitasetta parannetaan tila-, alue- ja elinkeinotasolla. Ravinnekuormituksen pienentämiseksi on tarpeen kehittää laskentamallit, joiden avulla selvitetään eri toimenpiteiden vaikutukset fosforitaseeseen sekä niiden kustannusvaikutukset.

Turkiseläinten lannassa on runsaasti fosforia muihin eläinlajeihin verrattuna, koska rehussa on luupitoisia raaka-aineita; teurassivutuotteita, kuivattuja eläinperäisiä jauhoja, kalasivutuotteita ja rehukalaa. Turkiseläimet käyttävät hyväkseen vain noin 10–20 % rehun fosforista, ja suurin osa rehun fosforista päätyy lantaan (Ylivainio ym. 2003; Nenonen ym. 2004). Tällä hetkellä turkiseläinten ruokinnassa on siis huomattavaa fosforyliiruokintaa. Kasvavien sinikettujen (*Alopex lagopus*) päivittäinen fosforitarve tyydyttyy, kun rehussa on kivennäisaineita eli analysoituna tuhkaa 50–60 g kg<sup>-1</sup> KA (5–6 % tuhkapitoisuus rehun kuiva-aineessa) ja fosforia 6 g kg<sup>-1</sup> KA (Valaja ym. 2000). Nykyään rehun tuhka- ja fosforipitoisuus voi kuitenkin olla suositusta huomattavasti suurempi,

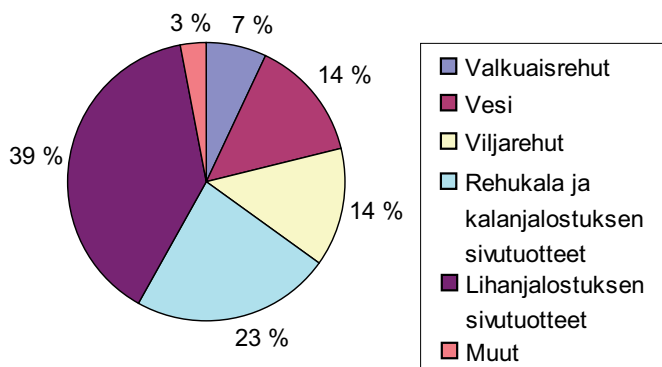
jopa kaksinkertainen (Pölonen 2001). Rehun tuhkan ja siten fosforipitoisuuden vähentäminen suositusten rajoihin vähentäisi myös sonnan ja virtsan fosforipitoisuutta ja siten turkistuotannon aiheuttamaa fosforikuormitusriskiä.

Turkiseläinten ruokinta eroaa muiden tuotantoeläinten ruokinnasta oleellisesti, sillä turkiseläinten rehu valmistetaan pääosin 13 rehukeskuksessa, jotka vastaavat rehujen raaka-ainevalinnasta ja rehujen koostumuksesta. Turkistila ei siten pysty suoraan vaikuttamaan rehun koostumukseen. Suomen Turkiseläinten Kasvattajain Liitto ry (STKL ry) julkaisee vuosittain suositukset rehujen ravintoainesisällöstä (Taulukko 1). Turkiseläinten rehujen ravintoainepitoisuudet ovat hyvin tiedossa, sillä rehukeskusten valmistamien rehujen koostumukset analysoidaan säännöllisin väliajoin STKL ry:n laboratoriossa. Suomessa käytetty rehu on pääasiassa tuorerehua, jota ei varastoida tiloilla. Rehu koostuu ensisijaisesti lihanjalostuksen sivutuotteista, rehukalasta ja kalanjalostuksen sivutuotteista, valkuaisrehuista ja viljarehuista (Kuva 1). Rehusta on lihajalostuksen sivutuotteita keskimäärin 39 % ja rehukalapohjaista 23 %. Valkuainen on rehun ravintoaineista kallein, joten sen osalta pyritään välttämään yliannostusta ja -ruokintaa.

Rehun koostumuksen vaihtelu vaikuttaa turkistilan fosforikuormitusriskiin. Turkiseläinten rehun koostumus vaihtelee paitsi eläinlajeittain, myös tuotantokauden mukaan, sillä rehun energiapitoisuutta ja muuntokelpoisen energian jakaumaa koskevat suositukset ja vaatimukset vaihtelevat tuotantokaudesta riippuen (Taulukko 1). Esimerkiksi silakan ja rasvan osuus rehussa muuttuu vuo-

Taulukko 1. Turkiseläinten ravintoainesuositukset vuodelle 2007 (STKL ry, 2007).

	Joulukuupenikointi	Penikointi-varhaiskasvu	Vieroitus-syyskuun alku	Syyskuun alkunahkonta
<b>MINKKI</b>				
ME, MJ/kg	≤5	≤5	~7	~7
ME, MJ/kg ka	~16,0	≥17	~17,5	~17,5
ME-jakauma, %				
Valkuaisesta	~40	~40	~35	~30
Rasvasta	~35	~40	~45	~50
Hiilihydraateista	~25	~20	~20	~20
<b>KETTUJASUOMENSUPI</b>				
ME, MJ/kg	≤5	≤5	~7	~7
ME, MJ/kg ka	~16	>17	~17,5	~17,5
ME-jakautuma, %				
Valkuaisesta	~38	~38	~30	~22
Rasvasta	~32	~40	~45	~50
Hiilihydraateista	~25	~20	~25	~25



Kuva 1. Turkiseläinrehun raaka-ainejakauma vuonna 2006 (STKL ry:n mukaan, 2007).

den mittaan, kun siirrytään tuotantokauden vaiheesta toiseen (joulukuu – penikointi, penikointi – varhaiskasvu, vieroitus – syyskuun alku, syyskuun alku – nahkonta).

Fosfori- ja typpitaseiden selvittämiseen ja ravintoaineiden käytön kriittiseen arviointiin tuotannon ja ympäristön kannalta voidaan käyttää systeemimallia. Mallin tueksi on syytä arvioida rehun koostumuksen muutosten vaikutukset (esim. lihaluujauhon korvaaminen liha- tai höyhenjauholla) tilan fosforitaseeseen ja sitä kautta kuormituspotentiaalini muutokseen. Lihaluujauhoa on käytetty yleisesti turkiseläinrehussa, mutta viime vuosien aikana sitä on kuitenkin jo jossain määrin korvattu mm. lihajauholla. Lisäksi höyhenjauhon käyttöä rehuraaka-aineena on alustavasti tutkittu. Näiden korvaavien rehuraaka-aineiden käyttö turkiseläinrehussa aiheuttaa muutoksia kivennäisaineiden sulavuuteen ja lannan mukana ympäristöön joutuvan fosforin määrään. Tutkittua tietoa näiden eri rehuraaka-aineissa olevan fosforin hyödynnettävyydestä on vähän. Edellä mainittujen eläinperäisten kuivattujen valkuaisraaka-aineiden käyttömahdollisuuksia tutkittiin MTT:n Kannuksen turkistalouden tutkimusasemalla vuonna 2006.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli:

1. Selvittää lihaluujauhon, lihajauhon ja höyhenjauhon vaikutus siniketun sonnan määrään kasvatuskautena sekä em. rehuraaka-aineiden vaikutus tuhkan sulavuuteen. Lisäksi selvitettiin sonnan kokonaisfosforipitoisuus ja fosforin liukoisuus sonnassa.
2. Rakentaa systeemimalli, jolla eri toimenpiteiden vaikutukset tilan fosforitaseeseen ja sitä kautta kuormituspotentiaaliin voidaan arvioida.



## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Rehun koostumuksen vaikutus sonnan fosforipitoisuuteen

Rehun koostumuksen vaikutusta sonnan fosforipitoisuuteen tutkittiin syksyllä 2006. Koe toteutettiin MTT:n Turkistalouden tutkimusasemalla Kannuksessa kasvatuskauden alussa 18.8.–1.9.2006 (kasvatuskauden alun koe, K1) ja lopussa 13.–27.10.2006 (kasvatuskauden lopun koe, K2). Koeryhmiä oli kolme, joissa jokaisessa oli kahdeksan sinikettu-urosta. Eläimet jaettiin koeryhmiin siten, että jokaisessa koeryhmässä oli sinikettu-uros samasta pentueesta. Yhteensä eläimiä oli 24, ja samoja eläimiä käytettiin molemmissa osakokeissa. Eläimet kasvatettiin yksilöhäkeissä. Koeryhmät olivat seuraavat:

1. LLJ: turkiseläinrehu, josta 8 % (K1) ja 5 % (K2) lihaluujauhoa
2. LJ: turkiseläinrehu, josta 8 % (K1) ja 5 % (K2) lihajauhoa
3. HJ: turkiseläinrehu, josta 8 % (K1) ja 5 % (K2) höyhenjauhoa

Koerehun koostumus vastasi keskimääräistä siniketun kasvatuskauden rehua muuten paitsi lihaluu-, liha- ja höyhenjauhon osalta. Koerehut sisälsivät teurasivutuotetta, silakkaa, kalasivutuotetta, broilersivutuotetta, kypsää ohraa, keitettyä ja liisteröityä ohraa, soijaöljyä, kivennäisiä ja vitamiineja sekä metioniinia (Taulukko 2). Kasvatuskauden lopun kokeen rehut sisälsivät lisäksi ketunruhomassaa. Koerehut valmistettiin kokeiden alussa, ja päivittäin annettava rehumäärä pakattiin muovipusseihin ja pakastettiin. Koerehuista otettiin valmistuksen yhteydessä näytteet, joista analysoitiin kuiva-aine, tuhka ja ravintoainepitoisuudet STKL ry:n Turkiseläinlaboratoriossa Vaasassa.

Eläimet ruokittiin ennen koetta ja osakokeiden välillä normaalin tilakäytännön mukaisesti Kannuksen Minkinrehu Oy:n ketunrehulla. Eläimet punnittiin molempien osakokeiden alussa ja lopussa. Kokeen aikana eläimet ruokittiin keran päivässä koerehulla. Varsinaista 5 vrk:n mittaista koejaksoa edelsi 10 vrk:n mittainen totutusjakso, jonka aikana eläimet totutettiin koerehuun ja sulavuuskoehäkkeihin. Kasvatuskauden alun kokeen aikana kaikkien ryhmien eläimille annettiin totutusjakson ensimmäisinä päivinä 500 g ja kokeen muina päivinä 600 g rehua. Kasvatuskauden lopun kokeen aikana vastaavat rehumäärät olivat 800 g ja 900 g. Kuusi eläintä jätti rehua syömättä kasvatuskauden alussa tehdyn kokeen aikana 1–4 päivänä. Syömättä jäänyt rehu kerättiin päivittäin, ja siitä analysoitiin kuiva-ainepitoisuus rehunkulutuslaskelmia varten. Kasvatuskauden lopussa tehdyn kokeen aikana yksikään eläin ei jättänyt rehua syömättä.

Taulukko 2. Koerehujen raaka-aineet, % osakokeiden K1 ja K2 aikana. LLJ = lihaluujauho; LJ = lihajauho; HJ = höyhenjauho

	Kasvatuskauden alun koe, K1			Kasvatuskauden lopun koe, K2		
	LLJ	LJ	HJ	LLJ	LJ	HJ
Teurassivutuote	17	17	17	20	20	20
Silakka	15	15	15	5	5	5
Kalasisivutuote	6	6	6	2	2	2
Broilersivutuote	17	17	17	20	20	20
Esikypsytetty ohra	10	10	10	15	15	15
Soijaöljy	3	2,5	2,5	2	2	2
Ketunruhomassa				4	4	4
Ohra, keitetty, liisteröity	6	6	6	5	5	5
Vesi	18	18,5	18,5	22	22	22
Höyhenjauho			8			5
Lihajauho		8			5	
Lihaluujauho	8			5		

Osakokeiden aikana eläinten päivittäinen rehunkulutus mitattiin. Virtsa kerättiin yksilöittäin ja vuorokausivirtsa punnittiin päivittäin. Virtsanäyte varastoitiin eläinکوhtaiseksi kokoomanäytteeksi, josta määritettiin fosforipitoisuus MTT:n Kasvintuotannon tutkimuslaboratoriossa Jokioisilla. Sonnan keräämistä varten häkkien alle viritettiin verkko. Sonta kerättiin talteen jokaisen häkin alta molempien osakokeiden aikana kerran päivässä, punnittiin ja pakastettiin. Pakastetuista sontanäytteistä koottiin molempien osakokeiden aikana eläinkohmainen kokoomanäyte, josta määritettiin kuiva-aine- ja tuhkapitoisuudet Kokkolanseudun Elintarvike- ja ympäristölaboratoriossa Kokkolassa. Sontanäytteiden fosforipitoisuus määritettiin MTT:ssä Jokioisilla (katso kohta 2.2). Hallin lämpötila rekisteröitiin päivittäin (Liite 1).

Tilastollisessa analysoinnissa käytettiin SAS Enterprise Guide 3.0 ja Microsoft Excel -ohjelmia. Koska tutkimuksessa tutkittiin usean ryhmän välisiä keskiarvojen eroja, aineiston analysoinnissa käytettiin 1-suuntaista varianssianalyysyä (jatkoissa 1-suunt. ANOVA), jolloin ryhmien väliset monivertailut tehtiin Tukeyn testillä. Mikäli normaalijakaumaoletus ei täytynyt, käytettiin parametritonta Kruskal-Wallis -testiä. Jos varianssien yhtäsuuruusoletus ei ollut voimassa, käytettiin Welchin ANOVA:a, ja ryhmien väliset monivertailut tehtiin Bonferronin testillä.

## 2.2 Fosforin liukoisuus sonnassa

Sinikettujen sontanäytteiden fosforin liukoisuus tutkittiin Hedleyn fraktioinnin mukaan (Sharpley ja Moyer 2000). Sontanäytteet ilmakeivattiin, seulottiin 2 mm:n seulalla ja fraktiointia varten osanäyte jauhettiin huumareissa. Hedleyn fraktioinnissa näytettä uutettiin peräkkäisillä uuttoliuoksilla (uuttosuhde 1:60) seuraavasti: ensin kahdesti vedellä, sitten 0,5 M NaHCO<sub>3</sub>:lla seuraavaksi 0,1 M NaOH:lla ja viimeiseksi 1 M HCl:lla. Uuttoaika oli 16 tuntia, paitsi ensimmäisessä vesiuutossa, joka kesti neljä tuntia. Jokaisen uuton jälkeen näyte sentrifugoitiin (3000 × g, 15 min) ja suodatetusta uutteesta (0,2 µm Nucleopore membraani, Whatman, Maidstone, UK) määritettiin epäorgaaninen fosfori ja suodattamattomasta uutteesta kokonaisfosfori (rikkihappo/peroksidisulfaatti hajoitus 120°C:ssa). Kokonaisfosforin ja epäorgaanisen fosforin erotuksen oletetaan olevan orgaanista fosforia.

Myös rehun raaka-aineina käytetyille lihaluujauholle, lihajauholle ja höyhenjauholle tehtiin fosforin fraktiointi sekä kokonaisfosforimääritys kuningasvesihajoituksella mikroaaltouunissa. Kokonaisfosforianalyyseissa fosforipitoisuus määritettiin ICP-OES:lla. Tilastollinen testaus suoritettiin Tukeyn testillä.

## 2.3 Turkistilamalli

Turkistilamallilla arvioitiin toimenpiteiden vaikutukset tilan fosforitaseeseen ja sitä kautta kuormituspotentiaaliin. Mallin avulla kuvattiin kolmen eri fosforilähteenä käytetyn rehun raaka-aineen (lihaluujauho LLJ, lihajauho LJ, höyhenjauho HJ) sekä kahden optimointivaihtoehdon (optimointi pienimmän rehunkustannuksen mukaan ja optimointi rehun sisältämän fosforimäärän mukaan) ja pentutuloksen (4, 5, 6) vaikutus esimerkkitalan fosforitaseeseen.

Tutkimuksessa kehitetyn mallin (Kuva 2) pohjana käytettiin maitotilamallia (Nousiainen ym. 2008, Huhtanen ym. 2009) ja se rakennettiin Excel® -taulukkolaskentaohjelmalla. Malli koostuu neljästä alamallista: 1) dieetin optimointi, 2) lannoitus, 3) kasvinviljely ja 4) ravinnetaseet.

## 2.4 Dieetin optimointi

Tuotantojaksottaisen ravinnonkulutuksen laskemisessa käytettiin STKL ry:n suosituksia (Taulukko 1) rehun sisältämien ravintoaineiden (ME sekä valkuaisen, rasvan ja hiilihydraattien osuus ME:stä) osalta. Eموjen syöntimäärien osalta (keskimäärin g KA vrk<sup>-1</sup>) käytettiin apuna MTT:n Turkistalouden tutkimusasemalla tehtyjen pitkäaikaiskokeiden aineistoja (mm. Koskinen ym. 2007). Pentujen syöntimäärät laskettiin kasvatuskauden kokeista saatujen tulosten avulla (mm. Koskinen ym. 2008, Kempe ym. 2008 ja Hemmija Norr-

dahl 2007). Eläinten nahkontapaino oli keskimäärin 15 kg. Ravinnonkulutus oli edellisten perusteella seuraava (g KA vrk<sup>-1</sup>):

1. Joulukuu - penikointi; emo 130 g vrk<sup>-1</sup>
2. Penikointi - varhaiskasvu; emo 160 g vrk<sup>-1</sup> + 60 g vrk<sup>-1</sup> pentu<sup>-1</sup>
3. Vieroitus - syyskuu; emo 150 g vrk<sup>-1</sup> + 250 g vrk<sup>-1</sup> pentu<sup>-1</sup>
4. Syyskuu - nahkonta; emo 140 g vrk<sup>-1</sup> + 360 g vrk<sup>-1</sup> pentu<sup>-1</sup>

Lopullinen dieetti (KA, P, N) laskettiin tuotettua nahkaa kohti.

Lannan tyyppi ja fosfori tuotettua nahkaa kohti laskettiin seuraavasti:

1. Lannan N (kg) = N syönti (kg) – eläimiin sitoutunut N

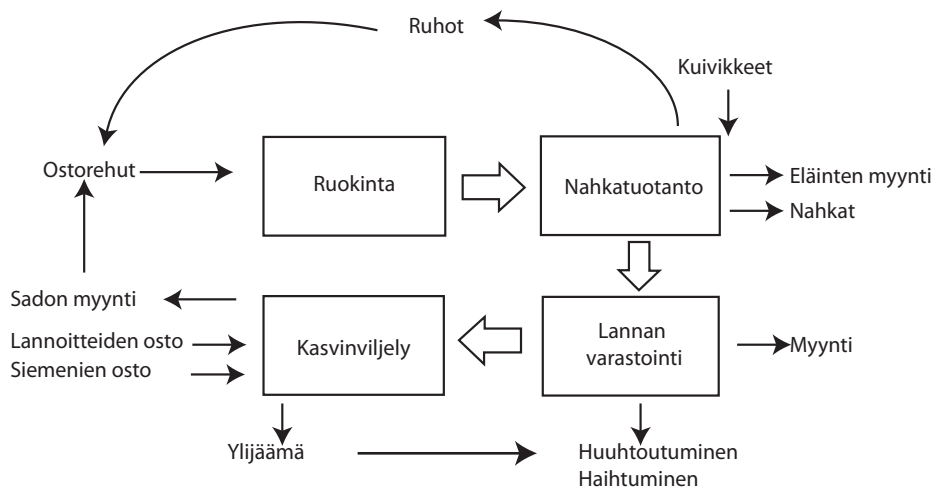
Eläimiin sitoutunut: 22,84 g N kg<sup>-1</sup> (elopaino) (Nousiainen 2008, julkaisematon)

2. Lannan P (kg) = P syönti (kg) – eläimiin sitoutunut P

Eläimiin sitoutunut: 5,08 g P kg<sup>-1</sup> (elopaino) (Nousiainen 2008, julkaisematon)

3. Virtsan typen osuus on 50 % lannan kokonaistypestä.

Alamallit 3 ja 4 perustuvat maitotilamalliin (Huhtanen ym. 2009).



Kuva 2. Turkistilan ravinneriittomallin kaavamainen esitys.

## 3 Tulokset

### 3.1 Rehun koostumuksen vaikutus sonnan fosforipitoisuuteen

Eläinten keskipaino kasvatuskauden alun kokeen aikana oli  $5,30 \pm 0,36$  ( $\pm$ SD) kg ja kasvatuskauden lopun kokeen aikana  $11,06 \pm 0,68$  ( $\pm$ SD) kg. Eläimet kasvatettiin koko kokeen ajan yksilöhäkeissä. Normaalitilaolosuhteissa eläimet kasvatetaan 2–3 eläintä /häkki, jolloin niiden paino on suurempi kuin yksittäin kasvatettujen eläinten.

Kokeessa käytettyjen eläinperäisten valkuaisraaka-aineiden koostumustiedot on esitetty taulukossa 3. Höyhenjauhon tuhkapitoisuus oli huomattavasti alhaisempi kuin muiden jauhojen ja raakavalkuaisen osuus huomattavasti korkeampi. Lihaluujauhon energiapitoisuus oli muita jauhoja alhaisempi.

Kasvatuskauden alun ja lopun kokeiden rehujen analysoidut koostumukset on esitetty taulukossa 4. Kasvatuskauden alun kokeessa lihaluujauho- ja lihajauhorehujen kuiva-aineen tuhkapitoisuudet olivat samantasoiset ja seitsemän prosenttiyksikköä suurempia kuin höyhenjauhon tuhkapitoisuus. Kasvatuskauden lopun kokeessa lihaluujauho- ja lihajauhorehujen tuhkapitoisuudet olivat samantasoiset, kun taas höyhenjauhorehun tuhkapitoisuus oli melkein kolme prosenttiyksikköä pienempi. (Taulukko 4).

Rehun koostumus vaikutti rehun sulavuuteen (Taulukko 5), sonnan määrään ( $\text{g vrk}^{-1}$  ja  $\text{g KA vrk}^{-1}$ ) ja myös sonnan fosforipitoisuuteen ( $\text{g vrk}^{-1}$  ja  $\text{g kg}^{-1}$  KA) molemmilla jaksoilla K1 ja K2 (Taulukko 6). Tuhkan sulavuus erosi selvästi koeryhmien välillä: lihaluujauhorehun tuhkan sulavuus oli huonompi verrattuna erityisesti lihajauhorehuun. Sekä kasvatuskauden alussa että lopussa tehdyissä kokeissa lihaluujauhoryhmän eläinten keskimääräinen sonnan vuorokautinen määrä ( $\text{g}$  ja  $\text{g KA}$ ) oli suurin ja lihajauhoryhmän pienin. Sonnan fosforipitoisuus oli kasvatuskauden alun kokeessa korkein LLJ-ryhmässä ja alhaisin HJ-ryhmässä. Kasvatuskauden lopun kokeessa LLJ- ja LJ-ryhmissä oli korkein sonnan fosforipitoisuus. Toisenkin osakokeen K2 aikana höyhenjauhoryhmän sonnan fosforipitoisuus oli alhaisin. Fosforin vuorokautinen eritys sonnassa K1-jakson aikana oli suurin LLJ- ja LJ-ryhmässä sekä alhaisin HJ ryhmässä. Vastaavasti K2-jakson aikana fosforia erittyi sonnan mukana eniten LLJ- ja vähiten HJ-ryhmässä. Vaikka tuhkan sulavuus oli lihajauhorehussa paras, ryhmän eläinten sonnassa oli kuitenkin eniten fosforia kasvatuskauden alussa. Tämä johtui siitä, että käytetyn lihajauhon ja siten rehun tuhkapitoisuus oli korkea. Höyhenjauhorehun tuhka- ja fosforipitoisuudet olivat pienimmät ja myös sonnan fosforipitoisuus oli pienin.

Taulukko 3. Koerehujen valmistuksessa käytetyn lihaluujauhon, lihajauhon ja höyhenjauhon koostumukset.

	Lihaluujauho	Lihajauho	Höyhenjauho
Kuiva-aine, %	91,0	90,2	90,5
Kuiva-aineessa:			
Tuhka, %	35,4	27,9	2,6
Raakavalkuainen, %	47,8	52,8	84,3
Raakarasva, %	14,4	17,5	12,9
Raakahiilihydraatit, %	2,4	1,8	0,1
Muunt. energia MJ/kg	9,5	13,0	14,1
Kokonaisfosforipitoisuus, g/kg	55,4	44,5	3,0

Taulukko 4. Koerehujen koostumus osakokeiden K1 ja K2 aikana. LLJ = Lihaluujauho; LJ = Lihajauho; HJ = Höyhenjauho.

	K1			K2		
	LLJ	LJ	HJ	LLJ	LJ	HJ
Kuiva-aine, %	37,4	37,5	38,1	39,4	40,0	39,8
Kuiva-aineessa:						
Tuhka, %	13,6	13,7	6,6	10,4	10,5	7,6
Raakavalkuainen, %	33,0	33,6	40,4	26,8	31,8	31,9
Raakarasva, %	28,1	25,6	24,7	29,4	31,8	26,9
Raakahiilihydraatit, %	25,3	27,0	28,4	33,4	25,9	33,6
Muunt. energia, MJ/kg KA	17,7	17,1	17,9	17,5	18,5	17,4
pH	4,9	4,9	4,8	4,7	4,7	4,7
ME-jakauma:						
Valkuainen, %	29,2	30,9	35,3	23,1	26,0	27,7
Rasva, %	56,9	53,8	49,4	60,2	61,7	55,3
Hiilihydraatit, %	13,9	15,3	15,3	16,8	12,4	17,0

Taulukko 5. Keskimääräinen rehun, kuiva-aineen ja tuhkan sulavuus osakokeiden aikana (%  $\pm$ SE).

	LLJ	LJ	HJ	Testi	P
K1					
Kuiva-aineen sulavuus, %	65,2 $\pm$ 1,3b	74,3 $\pm$ 0,4a	72,9 $\pm$ 0,8a	Welch ANOVA: $F_{2,11,76}=21,67$	<0,001
Tuhkan sulavuus, %	18,4 $\pm$ 2,9b	30,3 $\pm$ 1,9a	24,1 $\pm$ 6,7ab	K-W: $X^2_2=6,52$	<0,05
K2					
Kuiva-aineen sulavuus, %	75,2 $\pm$ 0,4b	78,3 $\pm$ 0,4a	78,1 $\pm$ 0,5a	1-suunt. ANOVA: $F_{2,21}=14,46$	<0,001
Tuhkan sulavuus, %	12,9 $\pm$ 1,1b	24,5 $\pm$ 2,0a	21,4 $\pm$ 1,6a	K-W: $X^2_2=12,37$	<0,01

Rehun koostumus ei vaikuttanut kerätyn virtsan määrään, virtsan fosforipitoisuuteen tai virtsassa eritetyn fosforin päivittäiseen määrään kummankaan osakokeen K1 ja K2 aikana. Yhteensä vuorokaudessa sonnassa ja virtsassa eritetyn fosforin määrä oli K1 ja K2 jaksojen aikana korkein LLJ-ryhmän ja alhaisin HJ-ryhmän eläimillä. (Taulukko 6)

Lihajauhorehun tuhkan sulavuus oli paras, mutta se ei juuri eronnut höyhenjauhorehun tuhkan sulavuudesta (Taulukko 5). Lihaluujauhorehun tuhkan sulavuus oli merkittävästi pienempi kuin muilla rehulla, ja siten koeryhmän sonnan fosforipitoisuus oli suurempi kuin muilla ryhmillä (Taulukko 6). Sonnan fosforipitoisuus ei kuitenkaan eronnut tilastollisesti merkittävästi lihajauhorehuryhmän sonnan fosforipitoisuudesta. Sen sijaan höyhenjauhoryhmän sonnan fosforipitoisuus oli huomattavasti pienempi kuin muilla koeryhmillä.

Lihaluujauho on yksi turkiseläinten rehun perusraaka-aine edullisuutensa ja suuren energiasisältönsä vuoksi. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että lihaluujauhon korkea luupitoisuus voi vaikeuttaa tuhkan hyväksikäyttöä, mikä näkyy huonona sulavuutena. Tuhkan huono sulavuus johtaa osaltaan ulosteiden korkeaan fosforipitoisuuteen, mikä puolestaan lisää siniketun lannan ympäristökuormitusta. Tuhkan huono sulavuus myös lisää ulosteen määrää.

Turkiseläinten rehun korkeaa tuhkapitoisuutta voidaan pitää ongelmallisena useasta syystä. Tuottajan kannalta ei ole kustannustehokasta ruokkia eläimiä huonosti sulavalla rehulla. Rehun huono sulavuus lisää sonnan määrää, joten tilan tuottama lantamäärä lisääntyy, mikä lisää kuljetuskustannuksia. Turkiseläinten lannan kuljettaminen on kuitenkin suhteellisesti edullisempaa kuin muiden lantalajien korkean fosfori- ja kuiva-ainepitoisuuden (Uusitalo ym. 2006) vuoksi. Turkistalouden keskittyminen rajatulle alueelle aiheuttaa kuitenkin ongelmia turkislannan hyödyntämisessä lannoitteeksi, sillä peltoalaa ei ole riittävästi kaiken lannan hyväksikäyttöön.

Turkiseläinlantaa on ollut mahdollista lisätä peltoon enemmän kuin korjattava sato on käyttänyt hyväkseen, koska lannan sisältämä fosfori on niukkaliukoista (Ylivainio ym. 2003). Lannan lisääminen samoille peltolohkoille on johtanut vuosien saatossa fosforin kertymiseen maahan ja huuhtoutumiselle alttiin fosforijakeiden määrän kasvuun ja siten lisännyt fosforin kulkeutumisriskiä vesistöihin (Kangas ym. 2006). Valitsemalla sellaisia rehun raaka-aineita, jotka eivät tarpeettomasti lisää rehun tuhka- ja fosforipitoisuutta voidaan vähentää lannan ja sen sisältämän fosforin määrää ja siten helpottaa paikallisesti turkiseläinlannan hyväksikäyttöä lannoitteeksi. Höyhenjauhoa voidaan pitää tällaisena raaka-aineena. Höyhenjauhon käyttöä rajoittaa kuitenkin heikko saatavuus ja salmonellariski, mikäli jauhoa ei käsitellä asianmukaisesti. Myös lihajauhoa voidaan pitää turkistuotannon fosforikuormituksen kannalta jonkin verran parempana rehun raaka-aineena kuin lihaluujauhoa, koska sen tuhkapitoisuus on yleensä

lihaluujauhoa alhaisempi. Tässä tutkimuksessa kuitenkin lihajauhorehulla ruokittujen sinikettujen sonnan fosforipitoisuus jäi suhteellisen suureksi, vaikka rehun sisältämän tuhkan sulavuus olikin hyvä. Lihaluujauhoa olisi mahdollista käyttää myös suoraan fosforilannoitteena sen suuren fosforipitoisuuden vuoksi (Jeng ym. 2006; Ylivainio ym. 2008, Ylivainio ja Turtola 2009).

Taulukko 6. Keskimääräinen rehunkulutus (g vrk<sup>-1</sup> ja g vrk<sup>-1</sup> KA), kerätty sonnamäärä (g vrk<sup>-1</sup>), sonnan kuiva-ainepitoisuus (%), sonnan fosforipitoisuus (g kg<sup>-1</sup> KA), sonnassa erittyneen fosforin määrä, virtsan määrä (g vrk<sup>-1</sup>), fosforin pitoisuus virtsassa (g kg<sup>-1</sup>), virtsassa eritetyn fosforin määrä (g vrk<sup>-1</sup>) ja eritetyn fosforin kokonaismäärä (g vrk<sup>-1</sup>) jaksoilla K1 ja K2.

	LLJ	LJ	HJ	p
<b>K1</b>				
Syöty rehu	544±22	600±0	598±2	
Syöty, KA	204±8	225±0	228±1	
Kerätty sonta	199,5±8,4a	167,1±5,7b	188,9±5,2ab	<0,01
Kerätty sonta, KA	70,3±2,6a	57,9±0,9b	61,8±1,6b	<0,001
P-pitoisuus sonnassa, KA	49,4±1,2a	56,8±1,1b	21,3±0,6c	<0,0001
P sonnassa	3,48±0,10a	3,28±0,08a	1,31±0,05b	<0,0001
Kerätty virtsa	383,7±38,1	325,7±26,0	386,1±20,24	NS
P-pitoisuus virtsassa	1,63±0,12	1,51±0,09	1,41±0,06	NS
P virtsassa	0,60±0,04	0,49±0,04	0,54±0,01	NS
Erittynyt P yhteensä	4,08±0,11a	3,77±0,06b	1,85±0,05c	<0,0001
<b>K2</b>				
Syöty rehu	900±0	900±0	900±0	
Syöty, KA	359,8±0	374,9±0	353±0	
Kerätty sonta	299,2±6,2a	269,9±10,2b	278,2±6,7ab	<0,05
Kerätty sonta, KA	89,1±1,5a	81,4±1,6b	77,2±1,8b	<0,001
P-pitoisuus sonnassa, KA	56,0±1,3a	55,7±0,8a	37,0±1,4b	<0,0001
P sonnassa	4,98±0,06a	4,52±0,07b	2,85±0,09c	<0,0001
Kerätty virtsa	514,8±23,1	518,6±11,8	526±26,4	NS
P-pitoisuus virtsassa	1,34±0,04	1,28±0,04	1,37±0,07	NS
P virtsassa	0,68±0,02	0,67±0,03	0,71±0,02	NS
Erittynyt P yhteensä	5,66±0,06a	5,19±0,08b	3,56±0,08c	<0,0001

Eri kirjaimilla merkityt käsittelyt poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Tukeyn testi, p<0,05). Ruokintajaksot on testattu erikseen.



## 3.2 Rehun koostumuksen vaikutus fosforin liukoisuuteen sonnassa

Sinikettujen ruokinnassa käytettyjen kuivattujen eläinperäisten raaka-aineiden LLJ:n, LJ:n ja HJ:n kokonaisfosforipitoisuudet olivat 55,4, 44,5 ja 3,0 g kg<sup>-1</sup> kuiva-ainetta. Taulukossa 7 on esitetty vastaavien tuotteiden Hedleyn fraktioiden fosforipitoisuudet. Suurin osa LLJ:n ja LJ:n fosforista oli happoon liukenevassa muodossa (noin 90 %) ja vesiuuttaisen fosforin osuus oli LLJ:ssa 3 % ja LJ:ssa 7 % fraktioiden yhteenlasketusta fosforipitoisuudesta. Myös HJ:ssa suurin osa fosforista oli happoon liukenevassa muodossa (52 %), mutta vesiliukoisen fosforin osuus oli huomattavasti suurempi (42 %).

Sinikettujen rehukoostumuksella oli selvä vaikutus sonnan sisältämän fosforin liukoisuuteen (Taulukko 8). Vesiliukoisen fosforin osuus fraktioiden yhteenlasketusta summasta oli 11, 5 ja 31 % LLJ-, LJ- ja HJ -rehua saaneiden sinikettujen sonnassa ensimmäisellä ruokintajaksolla. Toisella ruokintajaksolla vastaavat osuudet olivat 10, 9 ja 21 %. Höyhenjauhon suurempi vesiliukoisen fosforin osuus heijastui siten myös sonnan fosforin suurempana vesiliukoisuutena. Suuri osa sonnan fosforista oli kuitenkin vaikealiukoisessa eli happoon liukenevassa muodossa. Ensimmäisellä ruokintajaksolla 73, 81 ja 40 % fraktioiden yhteenlasketusta summasta oli happoon liukenevassa muodossa kun rehu sisälsi LLJ:a, LJ:a tai HJ:a. Toisella ruokintajaksolla vastaavat osuudet olivat 75, 75 ja 61 %. Orgaanisen fosforin osuus fraktioiden yhteenlasketusta fosforipitoisuudesta oli suurin HJ-rehua saaneiden sinikettujen sonnassa. Osuus oli kuitenkin enimmillään vain 8 % ensimmäisellä ruokintajaksolla.

Taulukko 7. Fosforin jakautuminen Hedleyn fraktioihin siniketun ruokintakokeen dieetissä käytetyissä lihaluujauhossa (LLJ), lihajauhossa (LJ) ja höyhenjauhossa (HJ), g kg<sup>-1</sup> kuiva-ainetta.

	LLJ	LJ	HJ
P <sub>vesi-epäorg.</sub>	1,3	2,3	0,7
P <sub>vesi-org.</sub>	0,6	0,9	0,4
P <sub>NaHCO<sub>3</sub>-epäorg.</sub>	2,3	1,6	<0,1
P <sub>NaHCO<sub>3</sub>-org.</sub>	1,1	0,5	-
P <sub>NaOH-epäorg.</sub>	0,4	0,3	<0,1
P <sub>NaOH-org.</sub>	0,2	0,2	<0,1
P <sub>HCl</sub>	50,2	41,4	1,3
ΣP-epäorg.	54,2	45,5	2,1
ΣP-org.	1,8	1,5	0,4
ΣP-yht	56,0	47,1	2,6

Taulukko 8. Fosforin jakautuminen Hedleyn fraktioihin siniketun sonnassa kahdella eri ruokintajaksolla (K1 ja K2), g kg<sup>-1</sup> kuiva-ainetta. Dieetti sisälsi joko lihaluujauhoa (LLJ), lihajauhoa (LJ) tai höyhenjauhoa (HJ).

	K1			K2		
	LLJ	LJ	HJ	LLJ	LJ	HJ
P <sub>vesi-epäorg.</sub>	4,9 <sup>b</sup>	2,7 <sup>a</sup>	5,8 <sup>c</sup>	5,4 <sup>ab</sup>	4,9 <sup>a</sup>	7,5 <sup>b</sup>
P <sub>vesi-org.</sub>	0,7 <sup>b</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,9 <sup>c</sup>	0,4 <sup>b</sup>	0,3 <sup>ab</sup>	0,2 <sup>a</sup>
P <sub>NaHCO3-epäorg.</sub>	6,1 <sup>b</sup>	6,3 <sup>b</sup>	4,4 <sup>a</sup>	7,0 <sup>b</sup>	7,2 <sup>b</sup>	5,2 <sup>a</sup>
P <sub>NaHCO3-org.</sub>	0,4 <sup>a</sup>	0,2 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>
P <sub>NaOH-epäorg.</sub>	0,8 <sup>b</sup>	0,7 <sup>ab</sup>	0,6 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>
P <sub>NaOH-org.</sub>	0,5 <sup>b</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,6 <sup>b</sup>	0,3 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a</sup>	0,5 <sup>b</sup>
P <sub>HCl</sub>	36,3 <sup>b</sup>	46,1 <sup>c</sup>	8,6 <sup>a</sup>	42,0 <sup>b</sup>	42,0 <sup>b</sup>	22,6 <sup>a</sup>
ΣP-epäorg.	48,1 <sup>b</sup>	55,8 <sup>c</sup>	19,5 <sup>a</sup>	54,9 <sup>b</sup>	54,6 <sup>b</sup>	35,9 <sup>a</sup>
ΣP-org.	1,6 <sup>b</sup>	1,0 <sup>a</sup>	1,8 <sup>b</sup>	1,2 <sup>a</sup>	1,1 <sup>a</sup>	1,1 <sup>a</sup>
ΣP-yht	49,7 <sup>b</sup>	56,8 <sup>c</sup>	21,3 <sup>a</sup>	56,0 <sup>b</sup>	55,7 <sup>b</sup>	37,0 <sup>a</sup>

Eri kirjaimilla merkityt käsittelyt poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Tukeyn testi, p<0,05). Fraktiot ja ruokintajaksot on testattu erikseen.

### 3.3 Turkistilamallin testaus

Turkistilamallin avulla kuvattiin kolmen eri fosforilähteenä käytetyn rehun raaka-aineen vaikutusta esimerkkitilan fosforitaseeseen. Ruokintaesimerkkien pohjana käytettiin vuonna 2006 kerättyä aineistoa rehun raaka-aineiden vaikutuksesta sonnan fosforipitoisuuteen. Raaka-aineiden vertailupohjaksi valittiin lihaluujauho (LLJ), lihajauho (LJ) ja höyhenjauho (HJ). Optimointi tehtiin pienimmän rehukustannuksen mukaan sekä rehun sisältämän fosforimäärän mukaan. Optimointivaihtoehtojen ja esimerkikiraa-aineiden vaikutusta verrattiin esimerkkitilan fosforitaseeseen. Lisäksi tutkittiin pentutuloksen (4, 5 tai 6 pentua/emä) vaikutusta fosforitaseeseen.

Dieetit laskettiin esimerkikiraa-aineita käyttäen molemmissa optimoinneissa neljälle eri jaksolle, joiden ravintoainesuosituksot ja rajoitteet olivat STKL ry:n suositusten mukaisia:

1. Joulukuu-penikointi;
2. Penikointi-varhaiskasvu;
3. Vieroitus-syyskuu;
4. Syyskuu-nahkonta

Simuloinnissa käytetyt raaka-aineiden hinnat olivat vuoden 2008 alussa eri rehukeittiöiltä saatuja keskiarvohintoja. Esimerkkitalan nahkatuotannoksi valittiin 5000 nahkaa vuodessa. Tällöin emien lukumääräksi tuli 1250, kun pentutulos oli neljä, 1000, kun pentutulos oli viisi ja 833, kun pentutulos oli kuusi. Sinikettujen oletettiin painavan nahkontahetkellä 15 kg. Nahkan koon vaihte-

lua ei otettu huomioon mallinnuksessa. Tilan viljelypinta-alaksi valittiin 40 ha ja viljeltäviksi kasvilajeiksi ohra (26,67 ha) ja kaura (13,33 ha). Maan fosforiluvun oletettiin olevan 10,15 mg l<sup>-1</sup>. Väkilantatyyppiä lisättiin peltoon 25 kg ha<sup>-1</sup>. Väkilannoitefosforia ei käytetty.

Simulointien tulokset on esitetty laskettuna molemmille optimointivaihtoehdoille ja eri esimerkkiraaka-aineille.

Optimoitaessa pienimmän rehukustannuksen mukaan simulointirehut sisälsivät lihaluujauhon, lihajauhon tai höyhenjauhon lisäksi tuotantovaiheesta ja käytetystä esimerkkiraaka-aineesta riippuen seuraavia raaka-aineita: kalasivutuote, silakka, teurassivutuote, broilerisivutuote, keitetty tai kypsennetty vehnä, kaura, ketunruhomassa, lihahöyhenjauho (LJ), soijarouhe (LLJ). Fosforioptimoinnissa rehut sisälsivät kalasivutuotetta, silakkaa, teurassivutuotetta, broilerisivutuotetta, keitettyä vehnää, kypsennettyä ohraa (LLJ, LJ), maissigluteenia, rypsiöljyä (LLJ, LJ), ja ketunruhomassaa. Höyhenjauhorehu sisälsi lisäksi lihajauhoa ja lihaluujauhorehu ketunrasvaa.

### 3.3.1 Optimointitapojen vertailu

#### *Vaikutus rehun hintaan*

Optimointi pienimmän rehukustannuksen mukaan johti siihen, että rehun hinta oli ensimmäisellä ja toisella jaksolla korkeampi lihaluujauhoa käytettäessä kuin lihajauhoa ja höyhenjauhoa käytettäessä (Taulukko 9). Hintaero johtui todennäköisesti siitä, että lihaluujauhorehua jouduttiin täydentämään kalliilla soijarouheella riittävän valkuaispitoisuuden takaamiseksi. Kolmannella ja neljännellä jaksolla hintasuhde oli päinvastainen, eli höyhenjauhorehu oli kalliimpaa kuin lihaluujauhorehu. Lihajauhorehu oli halvinta kolmannella jaksolla. Kun optimointi tehtiin rehun sisältämän fosforin mukaan, lihaluujauhorehun hinta oli kaikkien jaksojen aikana kalliimpi kuin muiden rehujen. Lihajauhorehu oli halvinta lukuun ottamatta penikoinnista varhaiskasvuun kestävä jaksossa, jolloin puolestaan höyhenjauho oli halvinta.

Rehukustannus nousi kaikkia esimerkkiraaka-aineita käytettäessä keskimäärin noin 6 snt kg<sup>-1</sup> KA, kun fosforioptimointia verrattiin hintaoptimointiin (Taulukko 9). Muutos oli suurin lihaluujauhoa käytettäessä. Myös rehukustannus nahkaa kohti oli keskimäärin suurempi fosforioptimoinnissa kuin hintaoptimoinnissa (Taulukko 10). Rehukustannuksen ero oli suurin lihaluujauhorehua (noin 4.3 euroa) käytettäessä, kun taas höyhenjauhorehua käytettäessä ero oli vain noin 25 snt. Optimoitaessa pienimmän rehukustannuksen mukaan rehun hinta tuotettua nahkaa kohti laskettuna oli yli euron kalliimpi höyhenjauhorehua käytettäessä kuin muita rehuja käytettäessä pentutuloksesta riippumatta. Myös fosforioptimoinnissa rehun hinta tuotettua nahkaa kohti laskettuna oli yli kaksi

euroa kalliimpi lihaluujauhorehua käytettäessä kuin muita rehuja käytettäessä riippumatta pentutuloksesta.

Pentutuloksen kasvaessa rehun hinta tuotettua nahkaa kohti laski optimointitavasta (alhainen rehun hinta tai alhainen rehun fosforipitoisuus) riippumatta keskimäärin 59 snt, kun pentutulos nousi neljästä viiteen (Taulukko 10). Hinnan muutos oli suurempi fosforioptimoinnissa (64 snt) kuin hintaoptimoinnissa (53 snt). Kun pentutulos nousi viidestä kuuteen, laski nahkakohtainen rehun hinta keskimäärin 39 snt. Hinta laski jälleen enemmän fosforioptimoinnissa (43 snt) kuin hintaoptimoinnissa (35 snt). Kaiken kaikkiaan hinta laski eniten lihaluujauhorehua käytettäessä fosforioptimoinnissa ja vähiten lihajauhorehua käytettäessä optimoitaessa pienimmän rehunkulutuksen mukaan.

### *Vaikutus rehun fosfori- ja typpipitoisuuteen*

Optimoitaessa pienimmän rehukustannuksen mukaan lihaluujauhorehu sisälsi enemmän fosforia verrattuna lihajauho- ja höyhenjauhorehuihin lukuun ottamatta jaksoa kaksi, jolloin lihaluujauho- ja lihajauhorehut sisälsivät fosforia yhtä paljon (Taulukko 9). Höyhenjauhorehu sisälsi fosforia vähiten lukuun ottamatta kolmatta jaksoa, jolloin lihajauhorehun fosforisisältö oli yhtä pieni. Typpä oli eniten höyhenjauhorehussa kaikkien jaksojen aikana ja vähiten lihaluujauhorehussa. Fosforioptimoinnissa lihaluujauhorehun fosforipitoisuus oli suurin lukuun ottamatta jaksoa syyskuusta nahkontaan, jolloin höyhenjauhorehun fosforipitoisuus oli yhtä suuri. Höyhenjauhorehun fosforipitoisuus oli pienin ensimmäisellä ja toisella jaksolla ja lihajauhorehun puolestaan kolmannella ja neljännellä jaksolla. Rehun typpipitoisuus oli suurin höyhenjauhorehussa ja likimain yhtä pieni lihaluujauho- ja lihajauhorehuissa.

Kun optimointitapojen vaikutusta simulointituloksiin verrattiin keskenään, havaittiin odotetusti, että rehun fosforipitoisuus oli fosforioptimoinnissa kaikkia esimerkkiraaka-aineita käytettäessä pienempi (keskimäärin noin  $2 \text{ g kg}^{-1}$  KA) kuin optimoitaessa pienimmän rehukustannuksen mukaan (Taulukko 9). Lihaluujauhorehun fosforipitoisuuden ero optimointitapojen välillä oli keskimäärin suurin ja höyhenjauhorehun pienin. Molemmassa optimoinneissa rehun fosforipitoisuus ylitti kasvavien sinikettujen tarpeen. Rehun typpipitoisuus oli suurempi fosforioptimoinnissa kuin hintaoptimoinnissa erityisesti lihaluujauho- ja lihajauhorehuissa, mutta keskimäärin vain noin  $1 \text{ g kg}^{-1}$  KA. Typpipitoisuus muuttui optimointitapojen välillä keskimäärin eniten lihaluujauhorehua käytettäessä.

Rehun sisältämä fosfori nahkaa kohti laskettuna oli myös luonnollisesti pienempi fosforioptimoinnissa kuin hintaoptimoinnissa (Taulukko 10). Suurin ero rehun fosforimäärässä optimointien välillä oli lihaluujauhorehua käytettäessä. Pentutuloksen parantuessa rehun sisältämän fosfori ylimäärä nahkaa kohti las-

kettuna väheni molemmissa optimoinneissa. Rehun sisältämässä työssä nahkaa kohti laskettuna ei ollut merkittävää eroa optimointitapojen välillä eikä pentutuloksella ollut merkittävää vaikutusta typen määrään. Höyhenjauhorehu sisälsi molemmissa optimoinneissa nahkaa kohti laskettuna eniten typpeä ja lihaluujauhorehu vähiten.

### *Vaikutus tilan fosfori- ja typpitaseeseen*

Lannan sisältämä fosforimäärä oli odotetusti keskimäärin suurempi hintaoptimoinnissa (3370 kg) kuin fosforioptimoinnissa (2800 kg) (Taulukko 10). Molemmissa optimointitavoissa lannan fosforimäärä oli suurin lihaluujauhoa käytettäessä ja pienin höyhenjauhoa käytettäessä. Pentutuloksen vaikutus oli molemmissa optimoinneissa lievä, mutta pentutuloksen paraneminen vaikutti lannan fosforimäärää vähentävästi tuotettua nahkaa kohti. Pentutuloksen vaikutus oli hintaoptimoinnissa suurin lihaluujauhorehua käytettäessä ja pienin höyhenjauhorehua käytettäessä. Fosforioptimoinnissa pentutuloksen vaikutus oli myös suurin lihaluujauhorehua käytettäessä, mutta pienin käytettäessä lihajauhorehua. Hintaoptimoinnissa käytettäessä höyhenjauhorehua lannan typpimäärä oli keskimäärin yli 2000 kg suurempi kuin vähiten typpeä tuottaneella lihaluujauhorehulla. Fosforioptimoinnissa lannan typpimäärä oli suurin lihajauhorehua käytettäessä ja pienin lihaluujauhorehua käytettäessä.

Sadon suuruus vaihteli hieman optimointivaihtoehtojen ja rehujen välillä (Taulukko 11). Sato oli pienin lihaluujauhorehua käytettäessä optimoitaessa pienimmän rehukustannuksen mukaan ja suurin lihajauhoa käytettäessä samoin hintaoptimoinnissa. Fosforioptimoinnissa satojen välillä ei ollut suuria eroja.

Taulukko 9. Esimerkkirehujen sisältämät fosfori- ja typpipitoisuudet (g kg<sup>-1</sup> KA) sekä rehun hinta (snt kg<sup>-1</sup> KA) eri tuotantokauden vaiheiden aikana optimoitaessa pienimmän rehukustannuksen tai rehun sisältämän fosforin mukaan.

	Lihaluujauho				Lihajauho				Höyhenjauho				
	1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*	1*	2*	3*	4*	
Hintaoptimointi:													
Rehun sisältämä P	16,9	15,0	16,3	11,9	14,5	15,0	12,2	10,3	10,6	12,2	12,2	9,4	
Rehun sisältämä N	65	68	56	48	67	70	57	51	72	70	64	57	
Rehun hinta	34,81	30,01	29,20	20,30	33,00	27,94	26,90	21,05	33,12	28,09	31,00	23,08	
P-optimointi:													
Rehun sisältämä P	14,4	10,3	12,3	9,4	11,5	9,9	10,8	9,1	9,2	9,1	11,8	9,4	
Rehun sisältämä N	67	73	58	51	68	73	59	51	71	76	61	53	
Rehun hinta	39,77	45,05	35,80	25,74	37,96	40,66	29,70	21,69	39,31	37,82	31,50	23,34	

1 = Joulukuu-penikointi; 2 = Penikointi-varhaiskasvu; 3 = Vieritus-syyskuu; 4 = Syyskuu-nahkonta

Taulukko 10. Esimerkkirehujen fosfori- ja typpiipitoisuudet nahkaa kohti (kg), rehun hinta/ nahka (€), fosfori- ja typpiylijäämät nahkaa kohti (kg) sekä lannan sisältämä typpi ja fosfori (kg) laskettuna erisuuruisille pentutuloksille.

	Pentutulos	Dieetin N (g kg <sup>-1</sup> KA)	Dieetin P (g kg <sup>-1</sup> KA)	Dieetin hinta / nahka (€)	N-ylijäämä / nahka (kg)	P-ylijäämä / nahka (kg)	Lannan N (kg)	Lannan P (kg)
Hintaoptimointi								
Lihaluujauho	4	53,1	13,63	15,67	3,105	0,808	15527	4041
Lihaluujauho	5	52,9	13,59	15,13	2,993	0,780	14967	3899
Lihaluujauho	6	52,8	13,56	14,77	2,919	0,761	14587	3803
Lihajauho	4	55,4	11,49	15,36	3,255	0,670	16274	3351
Lihajauho	5	55,3	11,45	14,85	3,139	0,646	15695	3228
Lihajauho	6	55,1	11,42	14,51	3,062	0,629	15303	3145
Höyhenjauho	4	60,8	10,55	16,84	3,602	0,609	18010	3046
Höyhenjauho	5	60,7	10,53	16,30	3,478	0,588	17390	2940
Höyhenjauho	6	60,6	10,52	15,94	3,395	0,574	16969	2869
P-optimointi								
Lihaluujauho	4	55,5	10,44	20,10	3,262	0,603	16309	3013
Lihaluujauho	5	55,3	10,41	19,41	3,145	0,581	15724	2904
Lihaluujauho	6	55,2	10,39	18,95	3,067	0,566	15328	2831
Lihajauho	4	58,5	9,99	17,90	3,450	0,573	17252	2866
Lihajauho	5	58,3	9,99	17,27	3,327	0,554	16636	2772
Lihajauho	6	58,1	9,99	16,86	3,245	0,542	16219	2708
Höyhenjauho	4	56,4	9,72	17,15	3,317	0,556	16583	2780
Höyhenjauho	5	56,2	9,70	16,54	3,198	0,536	15990	2682
Höyhenjauho	6	56,1	9,69	16,13	3,119	0,523	15588	2616

Pentutulos ei vaikuttanut typen ja fosforin hyväksikäyttöön peltohehtaaria kohti laskettuna ja vain vähän nahkakohtaiseen typen ja fosforin hyväksikäyttöön (Taulukko 12). Fosforin hyväksikäyttö peltoviljelyssä oli keskimäärin pienempää hintaoptimoinnissa kuin fosforioptimoinnissa. Molemmissa optimointitavoissa fosforin hyväksikäyttö hehtaaria kohti oli suurinta lihajauhorehua käytettäessä ja pienintä lihaluujauhorehua käytettäessä. Typen hyväksikäyttö puolestaan oli hieman suurempaa hintaoptimoinnissa kuin fosforioptimoinnissa, mutta rehujen välillä ei ollut eroa. Nahkakohtaisessa typen hyväksikäytössä ei ollut merkittävää eroa optimointien välillä, mutta molemmissa optimoinneissa lihajauhorehun typen hyväksikäyttö oli hieman pienempi kuin muiden rehujen. Fosforin nahkakohtainen hyväksikäyttö oli hieman suurempaa fosforioptimoinnissa kuin hintaoptimoinnissa. Molemmissa optimoinneissa fosforin hyväksikäyttö nahkaa kohti oli suurinta höyhenjauhorehua käytettäessä ja pienintä lihaluujauhorehua käytettäessä. Pentutuloksen parantuessa sekä typen että fosforin hyväksikäyttö parani hieman.

Lantaa vietiin esimerkkitalalta keskimäärin hieman vähemmän fosforioptimoinnissa (55.7 %) kuin hintaoptimoinnissa (58.4 %) (Taulukko 12). Pentutulos vaikutti lannan viettiin siten, että pentutuloksen kasvaessa lannan viennin tarve väheni. Tilalta pois viedyn lannan sisältämän fosforin ja typen määrä oli myös pienempi fosforioptimoinnissa (P: 1560 kg, N: 8570 kg) kuin hintaoptimoinnissa (P: 1970 kg, N: 8920 kg).



Taulukko 11. Esimerkkirehujen käyttöön liittyvät typpi- ja fosforilannoitukset (kg ha<sup>-1</sup>), typpi- ja fosforilylijäämät (kg ha<sup>-1</sup>) sekä sato (kg KA ha<sup>-1</sup>, kg N ha<sup>-1</sup>, kg P ha<sup>-1</sup>) laskettuna erisuuruisille pentutuloksille.

	Pentutulos	N-lannoitus	P-lannoitus	N-ylijäämä	P-ylijäämä	Sato KA	Sato N	Sato P
<b>Hintaoptimointi</b>								
Lihaluujauho	4	86	15,0	104,0	26,0	3075	60,9	12,1
Lihaluujauho	5	86	15,0	103,9	26,0	3074	60,9	12,1
Lihaluujauho	6	86	15,0	103,8	26,0	3075	60,9	12,1
Lihajauho	4	101	14,7	132,2	24,9	3192	65,8	12,6
Lihajauho	5	101	14,7	132,2	24,8	3192	65,8	12,6
Lihajauho	6	101	14,7	132,2	24,8	3192	65,8	12,6
Höyhenjauho	4	101	12,1	132,2	18,3	3181	65,8	12,5
Höyhenjauho	5	101	12,1	132,2	18,3	3181	65,8	12,5
Höyhenjauho	6	101	12,1	132,2	18,3	3181	65,8	12,5
<b>P-optimointi</b>								
Lihaluujauho	4	101	13,2	132,2	21,1	3186	65,8	12,6
Lihaluujauho	5	101	13,2	132,2	21,1	3186	65,8	12,6
Lihaluujauho	6	101	13,2	132,2	21,1	3186	65,8	12,6
Lihajauho	4	101	11,9	132,2	17,8	3181	65,8	12,5
Lihajauho	5	101	11,9	132,2	17,9	3181	65,8	12,5
Lihajauho	6	101	11,9	132,2	18,0	3181	65,8	12,5
Höyhenjauho	4	101	12,0	132,2	18,1	3181	65,8	12,5
Höyhenjauho	5	101	12,0	132,2	18,1	3181	65,8	12,5
Höyhenjauho	6	101	12,0	132,2	18,1	3181	65,8	12,5

Taulukko 12. Esimerkkirehujen käyttöön liittyvä typen ja fosforin hyväksikäyttö peltoa ja nahkaa kohti sekä lannan vienti (kg ja %) laskettuna erisuuruisille pentutuloiksille.

	Pentutulos	Hyväksikäyttö / pelto		Hyväksikäyttö / nahka		Lannan vienti (kg)	
		N	P	N	P	N	P
Hintaoptimointi							
Lihaluujauho	4	0,369	0,318	0,093	0,081	9274,6	2540,6
Lihaluujauho	5	0,369	0,318	0,097	0,083	8748,1	2398,9
Lihaluujauho	6	0,370	0,318	0,099	0,085	8391,8	2302,8
Lihajauho	4	0,333	0,336	0,090	0,096	8660,1	1877,2
Lihajauho	5	0,333	0,336	0,093	0,099	8110,0	1756,0
Lihajauho	6	0,333	0,337	0,095	0,101	7737,4	1674,0
Höyhenjauho	4	0,332	0,406	0,082	0,104	10309,8	1835,5
Höyhenjauho	5	0,332	0,406	0,084	0,108	9720,2	1730,1
Höyhenjauho	6	0,332	0,406	0,086	0,110	9320,7	1658,7
P-optimointi							
Lihaluujauho	4	0,332	0,373	0,089	0,105	8694,0	1690,7
Lihaluujauho	5	0,332	0,373	0,092	0,109	8138,0	1582,3
Lihaluujauho	6	0,332	0,373	0,094	0,111	7761,6	1508,9
Lihajauho	4	0,332	0,413	0,085	0,110	9589,9	1676,8
Lihajauho	5	0,332	0,412	0,088	0,114	9004,6	1579,2
Lihajauho	6	0,332	0,411	0,090	0,116	8608,3	1512,9
Höyhenjauho	4	0,332	0,409	0,088	0,113	8954,3	1579,9
Höyhenjauho	5	0,332	0,409	0,091	0,117	8390,4	1481,6
Höyhenjauho	6	0,332	0,409	0,093	0,119	8008,6	1414,9

## 4 Tulosten tarkastelu

Turkistilan ravinnetasetta mallinnettaessa esimerkkisimulointien avulla havaittiin eroja rehun raaka-ainevalinnan vaikutuksessa tilan fosforitaseeseen. Höyhenjauhon valitseminen raaka-aineeksi lihaluujauhon sijasta nosti nahkaa kohti laskettua rehun hintaa, mutta laskee rehun fosforipitoisuutta ja fosforiylijäämää. Rehun hintaan vaikuttivat myös muiden raaka-aineiden hinnat. Esimerkiksi riittävän valkuaispitoisuuden takaamiseksi lihaluujauhorehuun jouduttiin lisäämään kallista soijajauhoa. Mallinnuksessa käytetty raaka-ainelista oli melko suppea, ja valikoiman täydentämisellä voitaisiin vaikuttaa rehun koostumukseen ja siten rehun hintaan ja mallinnettavan tilan fosforitaseeseen.

Myös optimointi joko pienimmän rehunkustannuksen tai rehun fosforipitoisuuden mukaan vaikutti esimerkkisimuloinneissa tilan fosforitaseeseen. Fosforioptimointi nosti odotetusti rehun hintaa ja laskee fosforiylijäämää, mutta ei vaikuttanut tyyppiylijäämään. Fosforioptimoinnissa yhden fosforigramman vähennys rehun kuiva-aine kilossa nosti rehun hintaa 3 snt yhtä kuiva-ainekiloa kohti. Lisäksi fosforioptimointi laskee lannan sisältämää fosforimäärää ja paransi fosforin hyväksikäyttöä tilatasolla, mutta nosti lannan sisältämän typen määrää ja heikensi typen hyväksikäyttöä. Fosforioptimointi vähensi tarvetta viedä lantaa pois tilalta, mikä säästää tilan kustannuksia. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan otettu huomioon lannan kuljetukseen tai muuhun käsittelyyn liittyviä kustannuksia.

Valmiista turkiseläinten rehusta ei juuri ole tehty kivennäisaineanalyysyjä ja raaka-aineistakin vain lähinnä niistä, joita käytetään myös muiden kotieläinten ruokintaan. Lisäksi liha- ja kalateollisuuden sivutuotteiden koostumus vaihtelee. Tämän vuoksi rehun fosforipitoisuuden arviointiin käytetään yleisesti rehun tuhkapitoisuutta, josta on saatavissa luotettavaa tietoa valmistajien systemaattisen rehuvalvonnan kautta. Esimerkiksi kasvatuskauden aikana fosforia on keskimäärin 15 % rehun sisältämästä tuhkasta (Pölönen 2001). Rehun tuhkapitoisuus on puolestaan nykyisin keskimäärin 9–10 % kuiva-aineesta vaihdellen tuotantovuoden aikana yksittäisten rehukeskusten rehussa 2–3 prosenttiyksikköä. Korkeimmillaan tuhkapitoisuus on joulukuusta penikointiin kestäväällä jaksolla. Rehukeskukset käyttävät eri raaka-aineita, joten rehun tuhkapitoisuudessa esiintyy eroja myös rehukeskusten välillä. Vuosina 2001–2003 ero alhaisimman ja korkeimman tuhkapitoisuuden välillä oli noin kaksi prosenttiyksikköä. Koska vuotuisesta rehumäärästä kulutetaan n. 80 % heinä-marraskuussa, määräytyy vuotuinen tuhka- ja fosforipitoisuus ennen kaikkea tämän jakson perusteella.

Siniketun rehu- ja energiankulutus vaihtelevat mm. iästä, kunnosta ja tuotantokauden vaiheesta riippuen. Rehunkulutus ilmoitetaan yleensä tuotettua nahkaa kohti, jolloin mukana on pentujen lisäksi siitoseläinten kuluttaman rehun

osuus. Sinikettujen rehunkulutusta on tutkittu erityisesti 1990-luvulla, mutta tutkimustulosten käyttökelpoisuutta vaikeuttaa se, että eläinten koko on kasvanut voimakkaasti 1990- ja 2000-luvuilla. Tuoreimpien tutkimustulosten mukaan nykyajan suurikokoinen sinikettu tarvitsee kasvatuskaudella (vieroitusnahkonta) noin 10 kg keskimääräistä tuotantokauden turkiseläinrehua, jotta se lihoisi yhden kilon (Kempe ym. 2008). Kasvukauden aikana sinikettujen keskimääräinen kokonaisrehunkulutus on lähteestä riippuen noin 84–91 kg rehua (Hemmi ja Norrdahl 2007; Koskinen ym. 2008). Rehuhyötysuhteen parantaminen vaikuttaisi myös turkistilan fosforitaseeseen, sillä eläinten kasvaessa hyvin pienemmällä rehumäärällä myös lannan määrää ja siten tilan fosforipäästöjä olisi mahdollista vähentää.

Myös pentutuloksen voidaan olettaa vaikuttavan turkistilan fosforitaseeseen, kun tuotettu nahkamäärä pysyy samana. Simulointien perusteella pentutuloksen paraneminen vähensi paitsi rehukustannusta ja typen ja fosforin ylijäämää nahkaa kohti laskettuna, myös lannan sisältämää typen ja fosforin määrää, koska fosforin ja typen nahkakohtainen hyväksikäyttö parani. Siniketun pentutulos on ollut laskusuunnassa viime vuosien aikana, joten tilojen typpi- ja fosforikuormitus nahkaa kohti samoin kuin tarve viedä lantaa tilan ulkopuolelle on voinut jossain määrin lisääntyä pentuekoon pienentyessä.

Muita mahdollisia turkistilan fosforitaseeseen vaikuttavia, mutta toistaiseksi selvittämättömiä tekijöitä ovat esimerkiksi eläinten painon muuttuminen suhteessa nahkan kokoon. Nykyään suuri nahkan koko saavutetaan lihottamalla eläimet kasvatuskaudella äärimittoihin, mutta tämän on havaittu aiheuttavan terveydellisiä ja hyvinvointiongelmia (esim. Kempe ym. 2008). Tulevaisuudessa sinikettujen kasvatuksessa tullaankin todennäköisesti tavoittelemaan solakoita, mutta suurikokoisia eläimiä, jolloin eläimen painon ja nahkan koon suhde voi muuttua. Tämä muutos voi vaikuttaa myös tilan fosforitaseeseen eläinten hyödyntäessä rehua eri tavalla kuin nykyiset lihavat eläimet.

Tässä tutkimuksessa turkistilan mallintamista tarkasteltiin tilatasolla. Jatko-tutkimuksissa mallia tulisi laajentaa kattamaan turkistuotannon fosforitasetta laajemminkin kuin tilatasolla ottaen huomioon myös tilalta pois viedyn lannan vaikutus turkistuotannon aiheuttamaan fosforikuormitukseen. Tutkimuksessa käytetty turkistilamalli on käyttökelpoinen työkalu ravinteiden hyväksikäytön tehostamisessa ja turkistilan fosforitaseen parantamisessa. Malli vaatii vielä muokkausta käytettävyyden parantamiseksi ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön laajemmin.

## 5 Yhteenveto

Turkistuotannon aiheuttama vesistökuormitus on valtakunnan tasolla vähäistä, mutta tuotannon keskittyminen pienelle alueelle Pohjanmaalle aiheuttaa alueellisia vesiensuojeluongelmia. Turkiseläinten lannassa on runsaasti fosforia muihin eläinlajeihin verrattuna, koska rehun raaka-aineina käytetään luupitoisia teurassivutuotteita ja lihaluujauhoa sekä rehukalaa, ja suurin osa rehun fosforista päätyy lantaan. Tällä hetkellä turkiseläinten ruokinnassa on myös huomattavaa fosforiyliruokintaa.

Lihaluujauho on yksi turkiseläinten rehun perusraaka-aine edullisuutensa ja suuren energiasisältönsä vuoksi. Korkean luupitoisuuden vuoksi sen tuhkapitoisuus on myös korkea ja sulavuus on huono verrattuna esimerkiksi höyhenjauhoon. Turkistuotannon fosforikuormituksen vähentämiseksi tulisi valita sellaisia rehun raaka-aineita, jotka eivät tarpeettomasti lisää rehun tuhka- ja fosforipitoisuutta. Höyhenjauhoa voidaan pitää tällaisena raaka-aineena, mutta sen käyttöä rajoittaa kuitenkin heikko saatavuus ja salmonellariski. Myös lihajauhoa voidaan pitää fosforikuormituksen kannalta jonkin verran parempana rehun raaka-aineena kuin lihaluujauhoa, sillä sen fosforipitoisuus on yleensä lihaluujauhoa alhaisempi. Tässä tutkimuksessa kuitenkin lihajauhorehulla ruokittujen sinikettujen sonnan fosforipitoisuus oli suhteellisen suuri, vaikka rehun sisältämän tuhkan sulavuus olikin hyvä. Käytännön turkiseläintuotannossa kustannustekijät ohjaavat raaka-ainevalintaa.

Tutkimuksessa rakennettiin turkistilamalli, jolla eri toimenpiteiden vaikutukset tilan fosforitaseeseen ja sitä kautta kuormituspotentiaaliin voitiin arvioida. Turkistilamallin avulla simuloitiin kolmen eri valkuaislähteenä käytetyn rehun raaka-aineen (lihaluujauho, lihajauho, höyhenjauho) sekä kahden optimointivaihtoehdon (optimointi pienimmän rehunkustannuksen mukaan ja optimointi rehun sisältämän fosforimäärän mukaan) ja pentutuloksen (4, 5, 6) vaikutus esimerkkitalan fosforitaseeseen.

Mallinnuksessa havaittiin, että höyhenjauhon valitseminen raaka-aineeksi lihaluujauhon sijasta nosti nahkaa kohti laskettua rehun hintaa, mutta laski rehun fosforipitoisuutta ja fosforiylijäämää tuotettua nahkaa kohti. Lihajauhorehu oli keskimäärin halvinta. Rehun hintaan vaikuttivat myös muiden raaka-aineiden hinnat.

Simulointien perusteella pentutuloksen paraneminen vähensi paitsi rehun hintaa ja nahkaa kohti laskettua typen ja fosforin ylijäämää, myös lannan sisältämää typen ja fosforin määrää, koska fosforin ja typen nahkakohtainen hyväksikäyttö parani. Siniketun pentutulos on ollut laskusuunnassa viime vuosien aikana, joten tilojen typpi- ja fosforikuormitus nahkaa kohti samoin kuin tar-

ve viedä lantaa tilan ulkopuolelle on voinut jossain määrin lisääntyä pentutuloksen heikentyessä.

Rehun fosforipitoisuuden optimointi nosti rehun hintaa ja laski fosforiylijäämää suhteessa optimointiin pienimmän rehunkustannuksen mukaan. Fosforioptimointi laski myös lannan sisältämää fosforimäärää ja paransi fosforin hyväksikäyttöä tilatasolla, mutta nosti lannan sisältämän typen määrää ja heikensi typen hyväksikäyttöä. Fosforioptimointi vähensi tarvetta viedä lantaa pois tilalta.

Tässä tutkimuksessa käytetty turkistilamalli on käyttökelpoinen työkalu ravinteiden hyväksikäytön tehostamisessa ja turkistilan fosforitaseen parantamisessa. Malli vaatii kuitenkin vielä muokkausta käytettävyyden parantamiseksi. Raaka-aineista johtuva rehun epähomogeenisuus sekä vaihtelu kausittain ja rehunkulutustietojen rekisteröimättömyys hankaloittavat mallin käyttöä. Jatkotutkimuksissa mallia voisi laajentaa kattamaan turkistuotannon fosforitasetta laajemminkin kuin tilatasolla ottamalla huomioon myös tilalta pois viedyn lannan vaikutus.

## 6 Kirjallisuus

- Dahlman, T. 2004. Rehun koostumus ja ravintoainesuositukset vuodelle 2004. Teoksessa Suomen Turkiseläinten Kasvattajain Liiton Rehunvalmistajien luentopäivät 12.–13.2.2004 Oulu.
- Hemmi, A. ja Norrdahl, K. 2007. Siniketun (*Alopex lagopus*) rehunkulutus, kasvu ja nahan laatu. Analyysiraportti. Biologian laitos. Turun yliopisto. 29 s.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J., Tuori, M. ja Turtola, E. 2009. Maitotilan fosforikierron mallintaminen. Teoksessa: Turtola, E. ja Ylivainio, K. Suomen kotieläintalouden fosforikierto – säätöpotentiaali maataloilla ja aluetasolla. Maa- ja elintarviketalous 138. s. 6–33.
- Jeng, A.S., Haraldsen, T.K., Grønlund, A., Pedersen, P.A. 2006. Meat and bone meal as nitrogen and phosphorus fertilizer to cereals and ryegrass. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76: 183–191.
- Kangas, A. 2006. Turkislannan lannoituskäyttö. In: Arjo Kangas (toim.). *Turkislanta peltolannoitteena*. MTT:n selvityksiä 117: s. 19–32.
- Kempe, R., Strandén, I., Rekilä, T., Koskinen, N. ja Mäntysaari, E. 2008. Siniketun rehuhyötysuhteen perinnölliset tunnusluvut. In: Toim. Anneli Hopponen. *Maataloustieteen Päivät 2008, 10.-11.1.2008* [esitelmät ja posterit]. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 23: 7 p. Julkaistu 9.1.2008. Saatavilla Internetissä: <http://www.smts.fi>.
- Koskinen, N., Pölönen, I., Sepponen, J., Valaja, J. ja Rekilä, T. 2007. Korkea muurahaishappopitoisuus siniketun rehussa, pitkäaikaisvaikutukset. Lop-

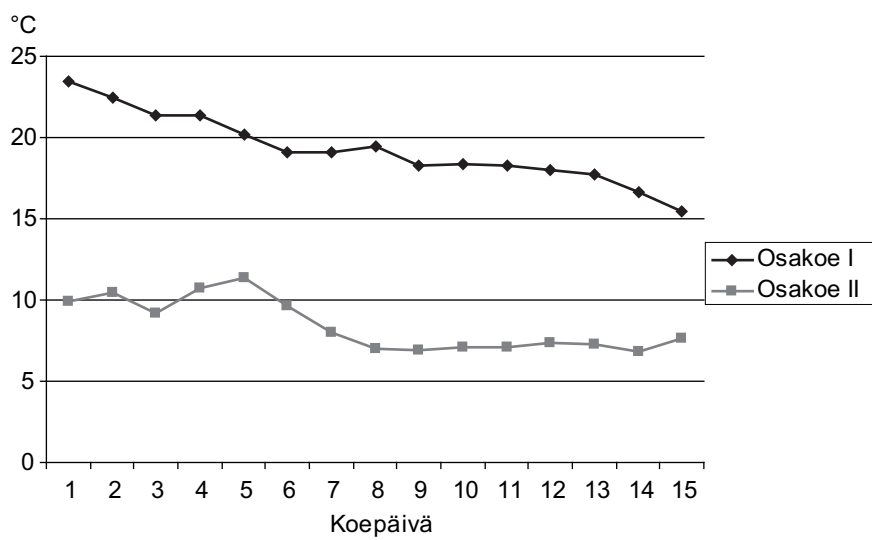
- puraportti. Maa- ja Elintarviketalouden tutkimuskeskus. 16 s.
- Koskinen, N., Sepponen, J., Kupsala, K., Pylkkö, P. ja Rekilä, T. 2008: Siniketun kasvuennustekäyrän luominen. Loppuraportti. Maa- ja Elintarviketalouden tutkimuskeskus. 15 s.
- Leivonen, J. (toim.) 2005. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005 – toteutumisen arviointi vuoteen 2003 asti. Suomen ympäristö 811. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 82 s.
- Nejonen, N., Sepponen, J. ja Rekilä, T. 2004. Kuivattujen eläinperäisten raaka-aineiden sulavuus sinikettujen rehussa. Loppuraportti. Maa- ja Elintarviketalouden tutkimuskeskus. 9s.
- Nousiainen, J., Tuori, M., Turtola, E. ja Huhtanen, P. 2008. Maitotilan fosfori- ja typpikierron mallintaminen. Teoksessa: Hopponen, A. (toim.) Maataloustieteen Päivät 2008 [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedotteita no 23. Viitattu 15.2.2008. Julkaistu 9.1.2008. Saatavilla Internetissä: <http://www.smts.fi>.
- Pölonen, I. 2001. Rehujen kivennäis- ja hivenainepitoisuuksista v. 2000. Teoksessa Suomen Turkiseläinten Kasvattajain Liiton Rehunvalmistajien luentopäivät 30.–31.1.2001 Nokia.
- Sharpley, A.N. ja Moyer, B. 2000. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality* 29: 1462–1469.
- Uusitalo, R., Turtola, E. ja Kangas A. 2006. Pitkään jatkuneen runsaan turkiseläinlannan käytön vaikutukset maan fosforipitoisuuteen ja fosforin liukoisuuteen erilaisissa viljelymaissa. Teoksessa: Kangas, A. (toim.) Turkislanta peltolannoitteena. MTT:n selvityksiä 117. MTT, Jokioinen. s. 5–18.
- Valaja, J., Pölonen, I., Jalava, T., Perttilä, S. ja Niemelä, P. 2000. Paljonko tuhkaa tarvitaan ketun rehussa? Teoksessa Suomen Turkiseläinten Kasvattajain Liiton Rehunvalmistajien luentopäivät 17.–18.2.2000 Vammala.
- Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu. Vesistöjen ravinnekuormitus ja luonnon huuhtouma. [verkkojulkaisu]. Viitattu 19.3.2007. Julkaistu 9.11.2006. Saatavilla Internetissä: <http://www.ymparisto.fi>.
- Valtioneuvosto periaatepäätös. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015. Annettu Helsingissä 23.11.2006. 19 s.
- Ylivainio, K., Uusitalo, R., Turtola, E. ja Rekilä, T. 2003. Phosphorus solubility in animal manure and meat and bone meal. Teoksessa: Niemeläinen, O. ja Topi-Hulmi, M. (toim.) Proc. NJF's 22nd Congress "Nordic Agriculture in Global Perspective" July 1–4, 2003, Turku, Finland.
- Ylivainio, K., Uusitalo, R. ja 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.

Ylivainio, K. ja Turtola, E. 2009. Kotieläintalouden ylijäämäfosfori kasvintuotannossa. Teoksessa: Turtola, E. ja Ylivainio, K. Suomen kotieläintalouden fosforikierto – säätöpotentiaali maataloilla ja aluetasolla. Maa- ja elintarviketalous 138. s. 65–160.

Ympäristöministeriö 1998. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005 – Målen för skydd av vattnen fram till år 2005. Suomen ympäristö 226. Helsinki: Ympäristöministeriö. 82 s.



Liite 1. Hallin lämpötila osakoejaksojen I (18.8.–1.9.2006) ja II (13.–27.10.2006) aikana.



# Kotieläintalouden ylijäämäfosfori kasvintuotannossa

Kari Ylivainio ja Eila Turtola

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

## Tiivistelmä

Kotieläintuotannon sivutuotteena muodostuu mm. lantaa ja lihaluujauhoa. Kotieläinten sonnan ja virtsan fosforisisältö vastaa tasaisesti Suomen peltopinta-alalle levitettyä noin 7,6 kg ha<sup>-1</sup>, josta 4,1 kg ha<sup>-1</sup> on peräisin nautakarjasta ja 1,0 kg ha<sup>-1</sup> turkiseläimistä. Lannoituskäyttöön soveltuvan lihaluujauhofosforin fosforisisältö on puolestaan 0,5 kg ha<sup>-1</sup>. Peltoviljelyssä käytetään tällä hetkellä väkilannoitefosforia noin 8 kg ha<sup>-1</sup>.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kotieläintuotannon kaikkein puutteellisimmin hyödynnettyjen fosforiylijäämien, turkiseläinlannan ja lihaluujauhon, sisältämän fosforin liukoisuus sekä käyttökelpoisuus kasveille. Laboratoriokokeissa tutkittiin sekä fosforin liukenemista suoraan itse fosforituotteista että fosforin liukoisuusmuutoksia, kun tuotteita oli levitetty maahan. Astiakokeissa ja kenttäkokeissa tutkittiin fosforin käyttökelpoisuutta kasveille maissa, jotka sisälsivät vain vähän helppoliukoista fosforia (viljavuusluokka huono ja huononlainen). Fosforin liukoisuutta ja käyttökelpoisuutta verrattiin naudan turvelannan ja superfosfaatin sisältämään fosforiin.

Ketunlannan ja lihaluujauhon sisältämästä fosforista suurin osa liukeni suoraan vain happoon (65–90 %) vesiliukoisen fosforin osuuden ollessa ketunlannassa 5–28 % ja lihaluujauhossa 3 %. Naudan turvelannan fosforista oli vesiliukoista 81 %. Astiakokeissa ketunlanta- ja lihaluujauhofosforin välittömät käyttökelpoisuudet raiheinälle olivat 35–54 ja 19 %. Käyttökelpoisuus parani ajan kuluessa ja kolmen vuoden aikana ketunlanta- ja lihaluujauhofosforin käyttökelpoisuudet raiheinälle olivat 69–87 ja 63 %. Kenttäkokeissa ketunlantakompostin sisältämän fosforin välitön käyttökelpoisuus oli maalajista ja maan pH:sta riippuen 21–33 % ja pelletöidyn lannan 29–61 %. Lihaluujauhofosforin välitön käyttökelpoisuus oli enintään 18 %. Jälkivaikutukseltaan heikkoliukoiset fosforilähteet olivat kuitenkin väkilannoitefosforin veroista ja yhteensä 3–4 vuoden kenttäkokeiden aikana kompostoidun ja pelletöidyn ketunlantafosforin sekä lihaluujauhofosforin käyttökelpoisuudet olivat 55, 78 ja 32 %. Maan kalkitseminen heikensi ketunlanta- ja lihaluujauhofosforin liukenemistä, mutta ei vaikuttanut naudan turvelannan tai superfosfaatin sisältämän fosforin liukoisuuteen. Naudan turvelanta oli kasveille vähintään yhtä käyttökelpoista kuin väkilannoitefosfori.

---

*Avainsanat: lihaluujauho, ketunlanta, naudanlanta, fosforin käyttökelpoisuus*

# Meat bone meal and fur animal manure as P sources in plant production

Kari Ylivainio and Eila Turtola

MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, FI-31600 Jokioinen, Finland,  
firstname.lastname@mtt.fi

## Abstract

Livestock produces significant amounts of phosphorus (P), quantitatively most in manure and other by-products, as meat bone meal. Manure corresponds to about 7.6 kg P ha<sup>-1</sup> of which 4.1 kg P ha<sup>-1</sup> originates from cows and 1 kg P ha<sup>-1</sup> from fur animals, if spread evenly across all cultivated area in Finland. Meat bone meal applicable for fertilizer corresponds to about 0.5 kg P ha<sup>-1</sup>. Current application of P in chemical fertilizers is about 8 kg ha<sup>-1</sup>.

The purpose of this study was to investigate the solubility and availability of P in the most important, and most poorly utilized by-products of animal production: meat bone meal and fox manure. Solubility of P was studied in laboratory by extractions and incubation in soils with different pH, and availability for plants in pot and field experiments using soils with very low P status. The solubility and plant availability were compared to those of superphosphate and cow manure.

Most of the P in fox manure and meat bone meal (65–90%) was soluble only in acid, while the shares of water soluble P were 5–28% and 3%, respectively. In cow manure, water-soluble P comprised 81% of total P. For ryegrass, the immediate plant availability of P was 35–54% in fox manure and 19% in meat bone meal, respectively, according to the pot experiment. As the experiment continued, however, P availability increased and during the whole three year experiment, it was 69–87% for fox manure and 63% for meat bone meal. In field experiment with low P status of soil, P availability during the year of application from fox manure was 21–61% and from meat bone meal at the most 18%, as compared to that of superphosphate. After the application year, P in fox manure and meat bone meal was equal to superphosphate, and the availabilities were 55–78% and 32%, respectively, during the 3–4 experimental years. Liming of slightly acid soils (pH 5.7–5.9) depressed solubility of P in fox manure and in meat bone meal, but not that of cow manure or superphosphate P. P in cow manure was at least equal to superphosphate P in the pot and field experiments.

---

*Key words: meat and bone meal, fox manure, cow manure, phosphorus bio-availability*

---

# 1 Johdanto

Fosfori on kasveille välttämätön ravinne. Kasvintuotannossa merkittävimmät fosforilähteet ovat väkilannoitefosfori sekä kotieläintuotannon sivutuotteena muodostuva lanta. Kun väkilannoitefosforin käyttö on vähentynyt merkittävästi 1980-luvun huippuvuosista lähtien (vuonna 1985 keskimäärin 35 kg ha<sup>-1</sup>, vuonna 2006 enää 8 kg ha<sup>-1</sup>), kotieläntuotannossa syntyvän lantafosforin määrä on tänä aikana pysynyt ennallaan, tasolla 8 kg ha<sup>-1</sup>.

Viime vuosina kotieläintuotannossa tilakoko ja eläintiheys ovat kasvaneet. Myös tuotannon keskittyminen on johtanut siihen, että muodostuvalle lannalle on entistä vaikeampaa löytää sijoituspaikkaa tilaa lähellä olevilta peltolohkoilta. Lypsykarja- ja turkistalous ovat keskittyneet Pohjanmaalle, sika- ja siipikarjantuotanto puolestaan Varsinais-Suomeen. Useissa näiden alueiden kunnissa muodostuu lantaperäistä fosforia alueen peltopinta-alaan suhteutettuna enemmän kuin sitä voidaan käyttää nykyisten maatalouden ympäristötukiehdokojen mukaan.

Ympäristötuessa karjanlannan kokonaisfosforista lasketaan kasveille käyttökelpoiseksi 85 % ja turkiseläinlannan kokonaisfosforista 40 %. Nämä käyttökelpoisuudet eivät kuitenkaan perustu raportoituihin tutkimuksiin ja niihin pohjautuva käyttö saattaa lisätä tarpeettomasti fosforin levitysmääriä. Turkiseläinlannan korkea fosforimäärä on seurausta rehun suuresta fosforipitoisuudesta, jota kohottaa mm. lihaluujauho. Lihaluujauhofosfori on puolestaan suurelta osin luuperäistä, minkä vuoksi se on muita lannoitukseen käytettäviä tuotteita vaikealiukoisempaa.

Kevästä 2006 alkaen lihaluujauhon käyttö lannoitteeksi tuli sallituksi koko EU:n alueella. Lannoitekäyttöön hyväksytyä lihaluujauhoa tuotetaan vuositasolla Suomessa noin 21000 tonnia, josta tällä hetkellä noin 7000–8000 tonnia syötetään turkiseläimille. Fosforilannoitteeksi hyväksytyä lihaluujauhoa syntyy noin 0,5 kg P ha<sup>-1</sup> Suomen peltopinta-alaa kohti. Lihaluujauhofosforin käyttökelpoisuudesta kasvintuotannossa on kuitenkin varsin vähän tutkimustietoa. Lannoitelaisissa lihaluujauhofosforin käyttökelpoisuus kasveille määritellään uuttamalla neutraaliin ammoniumsitraattiin.

Tässä työssä tutkittiin turkiseläinlannan ja lihaluujauhon sisältämän fosforin biologista käyttökelpoisuutta kasveille astia- ja kenttäkokein sekä selvitettiin fosforin liukoisuudessa tapahtuvia muutoksia maassa käytettäessä edellä mainittuja fosforilähteitä. Verranteina käytettiin naudan turvelantaa ja superfosfaattia. Tutkimuksen tarkoituksena oli tuottaa tietoa, jonka pohjalta kotieläintalouden sivutuotteiden sisältämää fosforia voidaan hyödyntää kasvintuotannossa ekologisesti kestäväällä tavalla.

## 2 Aineisto ja menetelmät

Tutkimus koostui (1) suorista liukoisuusmääryksistä, (2) inkubointikokeesta, (3) astiakokeesta ja (4) kenttäkokeista. Inkubointikokeen tarkoituksena oli tutkia fosforin liukenemistä ajan kuluessa, kun maahan lisätään liukoisuudeltaan erilaisia fosforilähteitä. Astia- ja kenttäkokeissa selvitettiin orgaanisten fosforilähteiden biologista, välitöntä ja pidemmän ajanjakson käyttökelpoisuutta kasveille ja liukoisuutta maassa.

### 2.1 Fosforilannoitteet ja koemat

Ketun raakalannan (RKL), ketun kompostilannan (KKL) ja pelletöidyn ketunlantakompostin (PKL) (Taulukko 1) alkuperä oli Natural Compost Kaustisella. Ennen kompostoriin laittoa ketunlanta oli sekoitettu turpeen kanssa tilavuussuhteessa 1:1, minkä jälkeen tuotetta oli kompostoitu panoskompostorissa viikon ajan. Kompostoinnissa tuotteeseen puhallettiin ilmaa alhaalta päin ja kom-

Taulukko 1. Inkubointi-, astiakoe- ja kenttäkokeissa käytettyjen fosforilannoitteiden fosfori (P)-, kokonaistyyppi (kok-N)-, liukoinen tyyppi (liuk-N)-, kalium (K)-, magnesium (Mg)-, kalsium (Ca)- ja hiili (C) -pitoisuudet kuiva-ainetta kohden, mg g<sup>-1</sup>, sekä kuiva-ainepitoisuus (KA), %

	P	kok-N	liuk-N	K	Mg	Ca	C	KA
Inkubointi- ja astiakoe								
RKL	37,6	37,4		13,6	4,2	65,9	303	91,2
KKL	28,0	37,0		8,8	3,5	53,0	350	92,1
PKL	26,4	34,7		10,0	4,0	48,6	306	91,0
LLJ	65,0	73,8		3,0	2,6	146,6	350	96,5
NTL	4,3	22,9		28,1	4,3	9,9	426	89,7
SF	92,7	-		4,4	2,1	205,2	7	97,9
Kenttäkoe, Pälkäne								
Vuosi 2004								
KKL	21,6	31,2	9,4	12,2	4,3	41,5	312	48,0
PKL	25,8	32,3	7,4	11,3	4,5	48,1	309	90,1
LLJ	49,1	90,2	0,4	3,0	2,1	100,7	392	98,4
NTL	4,8	24,7	10,0	23,9	4,8	9,0	462	18,2
SF	89,3 <sup>§</sup>	-	-	7,5 <sup>§</sup>	4,5 <sup>§</sup>	194,5 <sup>§</sup>		
Vuosi 2006 <sup>#</sup>								
KKL	34,3	24,8	1,3					36,2
NTL	5,8	35,2	13,9					15,6
Kenttäkoe, Jokioinen <sup>#</sup>								
KKL	27,8	34,4	11,5	9,6	4,0	51,2		31,5
NTL	5,8	36,31	4,9	21,7	5,3	12,1		18,2

<sup>§</sup>analyysitulos ilmoitettu ilmakuivalle näytteelle. <sup>#</sup>käytettiin samoja PKL- ja LLJ-eriä kuin Pälkäneellä vuonna 2004.

postin lämpötila nousi vuorokaudessa 70 °C:een. Kompostia pidettiin tässä lämpötilassa vielä vuorokausi, minkä jälkeen tuote kuivattiin imulla. Kuivauksen aikana kompostin kosteuspitoisuus laski 50 %:iin. Pelletöinnissä ketunlanta-kompostista puristettiin noin 1 cm:n pituisia pellettejä. Pelletöinnin yhteydessä kompostimassaa kuivattiin kuumalla (325 °C) ilmalla. Lihaluujauho (LLJ) oli peräisin Honkajoki Oy:ltä ja naudan turvelanta (NTL) MTT:n Jokioisten navetasta (Taulukko 2). Naudan turvelantaa oli kompostoitu asfaltoidulla alustalla muutaman kuukauden ajan. Ennen inkubointi- ja astiakoetta kaikki fosforilähteet ilma-kuivattiin superfosfaattia (SF) ja lihaluujauhoa lukuunottamatta, minkä jälkeen ne seulottiin inkubointikoetta varten 2 mm:n ja astiakoetta varten 6 mm:n seulalla. Kenttäkokeita varten fosforilähteitä ei kuivattu, vaan ne muokattiin maahan tuoreina.

Fosforilähteiden ravinnepitoisuuksien analysointia varten ne kuivattiin 70 °C:ssa ja jauhettiin (2 mm), minkä jälkeen näytteille tehtiin märkäpoltto (mikroaaltouunihajoitus, kuninkasvesi-HF) (Lamothe ym. 1986) ja ravinnepitoisuudet analysoitiin ICP-OES:lla. Kokonaistyyppi määritettiin joko LECO CN-2000 -analyysaattorilla tai Kjeldahl -menetelmällä. Hiilipitoisuus analysoitiin LECO CN-2000 -analyysaattorilla. Orgaanisten fosforilannoitteiden liukoinen tyyppi määritettiin uutamalla näytteitä HCl-CaCl<sub>2</sub> -liuoksella (Kemppainen 1989). Hedleyn fraktiointia varten (Sharpley ja Moyer 2000) sekä fosforilannoitteet että maanäytteet jauhettiin huumaremyllyllä ja uutettiin peräkkäisillä uuttoliuoksilla (uuttosuhde 1:60) seuraavasti: ensin kaksi kertaa vedellä, sitten 0,5 M NaHCO<sub>3</sub>:lla, seuraavaksi 0,1 M NaOH:lla ja viimeiseksi 1 M HCl:lla. Uuttoaika oli 16 tuntia, paitsi ensimmäisessä vesiutossa, joka kesti neljä tuntia. Jokaisen uuton jälkeen näyte sentrifugoitiin (3000 \* g, 15 min) ja suodatetusta uutteesta (0,2 µm Nucleopore membraani, Whatman, Maidstone, UK) määritettiin epäorgaaninen fosfori ja suodattamattomasta uutteesta kokonaisfosfori (rikkihappo/peroksodisulfaatti hajoitus 120 °C:ssa). Orgaaninen fosfori laskettiin kokonaisfosforin ja epäorgaanisen fosforin erotuksena.

Taulukossa 2 on esitty inkubointi-, astia- ja kenttäkokeissa käytettyjen, niukasti helppoliukoista fosforia sisältäneiden koemaiden ominaisuudet. Koemaille tehtiin viljavuusutto (hapan ammoniumasetaatti, pH 4,65) sekä määritettiin maalaji Elosen (1971) mukaan. Inkubointikokeessa käytettiin Pälkäneeltä haettua hietamaata ja Jokioisilta otettua savimaata. Samaa hietamaata käytettiin myös astiakokeessa. Savimaa oli puolestaan peräisin samalta peltolohkolta, jossa tehtiin kenttäkoe vuosina 2005–07. Pälkäneen kenttäkoealue oli multamaata (Taulukko 2).

Pälkäneen ja Jokioisten kenttäkokeissa muokkauskerroksen (0–25 cm) fosforiluku oli koetta aloitettaessa viljavuusluokassa huono ja koeruutujen välillä ei ollut merkittäviä eroja (Taulukko 2). Fosforiluvut olivat hieman pienempiä syvemmältä (25–40 cm) otetuissa maanäytteissä. Pälkäneellä kaliumluvut vas-

Taulukko 2. Inkubointi-, astiakoe- ja kenttäkoemaiden (Pälkäne ja Jokioinen) viljavuusanalyysin fosfori (P)-, kalsium (K)-, kalsium (Ca)- ja magnesium (Mg) -pitoisuudet, mg l<sup>-1</sup>, ja pH ennen kokeiden aloitusta, hiilipitoisuus (C), %, sekä hiukkas-  
kokojakauma (mm), %. Kenttäkoemaiden viljavuusanalyysit tehtiin 0-25 ja 25-40 cm:n kerroksista.

	P	K	Ca	Mg	pH	C	<0,002	0,002-0,02	0,02-0,2	0,2-2
Inkubointi- ja astiakoe*										
Hietamaa*	3,2	169	815	57	5,9	2,1	5,4	9,7	66,9	18,0
Savimaa	1,6	156	1814	7925,7	4,8	68,6	15,2	12,2	4,0	
Kenttäkoe, Pälkäne										
Osakoe A										
0-25 cm	0,8-1,0	48-55	3467-4040	199-222	5,5-5,6	20,9 <sup>f</sup>				
25-40 cm	0,4-0,7	41-48	2812-3339	174-202	5,0-5,3	22,9 <sup>f</sup>				
Osakoe B										
0-25 cm	0,9-1,1	54-68	3542-3963	192-206	5,5-5,6	17,6 <sup>g</sup>				
25-40 cm	0,7-1,0	46-59	2739-3216	162-182	5,2-5,4	18,3 <sup>g</sup>				
Osakoe C										
0-25 cm	1,1-1,3	36-41	5232-5601	286-298	5,6-5,7	21,5 <sup>f</sup>				
25-40 cm	0,7-1,0	32-41	4058-4661	235-266	5,3-5,5	21,7 <sup>f</sup>				
Kenttäkoe, Jokioinen										
0-25 cm	0,6-1,3	216-282	1676-2531	897-1064	5,6-6,0	2,2 <sup>#</sup>	72,9 <sup>#</sup>	12,9 <sup>#</sup>	9,5 <sup>#</sup>	4,6 <sup>#</sup>
25-40 cm	0,2-0,6	174-224	1524-1720	1019-1171	5,8-6,2	2,4 <sup>#</sup>				

\*astiakokeessa käytettiin vain hietamaata, <sup>f</sup>kuuden koeruudun keskiarvo, <sup>g</sup>neljän koeruudun keskiarvo, <sup>#</sup>koeruutujen 1, 39 ja 88 keskiarvo (Liite 6).

tasivat viljavuusluokkaa huononlainen ja Jokioisilla tyydyttävää luokkaa. Pälkäneellä ja Jokioisissa muokkauskerroksen (0–25 cm) kalsiumluvut olivat viljavuusluokassa tyydyttävä/hyvä ja välttävä/tyydyttävä ja magnesiumluvut viljavuusluokassa tyydyttävä/hyvä ja korkea. Pälkäneellä muokkauskerroksen (0–25 cm) pH oli 5,1–5,3 ja Jokioisilla 5,6–6,0.

## 2.2 Inkubointikoe

Ennen inkubointikokeen alkua koemaat ilmakeivattiin, seulottiin (2 mm) ja kalkittiin käyttämällä kahta eri tasoa. Kalkitustasoilla 1 ja 2 hietamaahan lisättiin 3 ja 7 g  $\text{Ca(OH)}_2$   $\text{kg}^{-1}$  maata, kun savimaalla vastaavat lisäykset olivat 10 ja 25 g  $\text{kg}^{-1}$  maata. Inkuboinnissa oli mukana verranne, jota ei kalkittu lainkaan (kalkitustaso 0). Kalkituksen jälkeen koemaiden annettiin tasapainottua muoviastiasissa noin kaksi kuukautta pitämällä kosteutena 70 % maan vedenpidätyskyvystä. Astiat peitettiin reiitetyllä muovikelmulla haihdunnan hidastamiseksi. Koemaiden kosteus tarkistettiin kahden viikon välein ja haihtunut kosteus korvattiin deionisoidulla vedellä. Tasapainotusajan jälkeen koemaat ilmakeivattiin ja seulottiin uudelleen (2 mm). Ilman kalkitusta hietaja savimaan pH:t olivat 5,9 ja 5,7. Kalkitustasot 1 ja 2 kasvattivat hietamaan pH:n arvoihin 7,5 ja 8,5 ja savimaan vastaavasti arvoihin 7,5 ja 8,8.

Koemaata punnittiin muoviastiasissa 500 g, ja ilmakeivatut fosforilähteet (RKL, KKL, PKL, LLJ, NTL ja SF) sekoitettiin koko maatilavuuteen. Kokonaisfosforilisäys oli 100 mg  $\text{kg}^{-1}$  maata, mikä vastasi noin 60 kg P  $\text{ha}^{-1}$  sekoitettuna 6 cm:n maakerrokseen (maan tilavuuspaino 1  $\text{kg l}^{-1}$ ). Koemaat kostutettiin jälleen 70 %:iin maan vedenpidätyskyvystä ja peitettiin muovikelmulla, jossa oli reikiä ilmanvaihtoa varten. Koemaat sijoitettiin laboratorion hyllylle ja peitettiin pahvilla. Inkubointikokeen aikana laboratorion lämpötila vaihteli minimimaksimi -lämpötilamittarin lukemien perusteella välillä 19–26 °C. Koemaiden kosteuspitoisuus tarkistettiin punnitsemalla kahden viikon välein, ja niistä otettiin maanäytteet puolen vuoden välein kahden vuoden ajan. Pari päivää ennen maanäytteen ottoa koemaat kostutettiin 70 %:iin vedenpidätyskyvystä, jotta kosteus ehti tasapainottua koeastiasissa ennen maanäytteen ottoa. Ennen näytteenottoa koemaat sekoitettiin hyvin ja kerralla otettiin noin 100 g:n maanäyte, joka kuivattiin 35 °C:ssa. Näytteiden pH mitattiin maa-vesisuspensiosta (v/v, 1:2,5) ja maille tehtiin Hedleyn fraktiointi kahtena rinnakkaisena, joista laskettiin keskiarvo.

## 2.3 Astiakoe

Kolmivuotinen astiakoe aloitettiin keväällä 2003. Koekasvina oli italian raiheinä (*Turgo*) ja koemaana niukasti helppoliukoista fosforia sisältävä hietamaa (Taulukko 2). Ennen kokeen aloitusta koemaa (6,5 kg astia<sup>-1</sup>) ilmakeivattiin, seulottiin 6



mm:n seulalla ja kalkittiin CaCO<sub>3</sub>:lla (6,85 g astia<sup>-1</sup>). Tavoite pH -arvo oli 6,5 (maa-vesisuspensio, v/v 1:2,5).

Käytetyt fosforilähteet olivat samat kuin inkubointikokeessa (Taulukko 1). Fosforilannoitteet sekoitettiin maahan kokeen alussa koko maatilavuuteen poisluokien siementen peittämiseen käytetty maa (250 ml, seulottu 4 mm:n seulalla). Lisätyt kokonaisfosforipitoisuudet olivat 25, 50 ja 100 mg kg<sup>-1</sup> koemaata, vastaten noin 15, 30 ja 60 kg P ha<sup>-1</sup> sekoitettuna 6 cm:n maakerrokseen (maan tilavuuspaino 1 kg l<sup>-1</sup>). Kontrollikäsitelyyn ei lisätty fosforia. Jokaisesta käsittelystä oli neljä kerrannetta. Kokeen perustamisen yhteydessä kaikkiin koeastioihin lisättiin liuosmuodossa seuraavat ravinnemäärät (mg astia<sup>-1</sup>): 1000 N (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> ja KNO<sub>3</sub>), 1000 K (KNO<sub>3</sub>), 200 Mg (MgSO<sub>4</sub>), 20 Na (NaCl), 10 Fe (FeSO<sub>4</sub>), 10 Zn (ZnSO<sub>4</sub>), 10 Mn (MnSO<sub>4</sub>), 5 Cu (CuSO<sub>4</sub>), 1 B (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) ja 1 Mo (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>). Seuraavina vuosina annettiin kylvön yhteydessä samat ravinnemäärät, paitsi typpeä ja kaliumia enemmän, 1500 mg astia<sup>-1</sup>. Ennen kylvöä maa kasteltiin 500 ml:lla deionisoitua vettä. Jokaisena vuonna kylvetty siemenmäärä oli noin 50 kappaletta itäviä italian raiheinän siemeniä (255–324 mg astia<sup>-1</sup>). Koeastiat peitettiin muovilla itämisen ajaksi ja ne pidettiin koko kasvukauden ajan ulkona verkkoseinäisessä astiakoehallissa.

Raiheinä niitettiin neljästi kahtena ensimmäisenä koevuonna ja kahdesti viimeisenä koevuonna leikkaamalla noin 2 cm:n korkeudelta maanpinnasta. Kasviaines pestiin nopeasti (alle 30 sekuntia) pesuaineliuoksessa (0,1 % Deconex), huuhdeltiin kolmesti deionisoidussa vedessä ja kuivattiin 65 °C:ssa. Kasviaines jauhettiin vasaramyllyllä (1 mm:n seula) ja näytteen fosforipitoisuus analysoitiin märkäpolton jälkeen ICP-OES:lla (Thermo Jarrel Ash, Franklin, MA). Laadunvarmistuksena mukana oli referenssinäyte. Typpipitoisuus analysoitiin Kjeldahl-menetelmällä.

Jokaisen niiton jälkeen koeastioihin annettiin typpi-, kalium- ja magnesiumli-sä, joiden tarkoituksena oli varmistaa näiden ravinteiden riittävyys seuraavalle sadolle. Ensimmäisenä koevuonna toiselle, kolmannelle ja neljännelle sadolle lisättiin 800 mg typpeä ja kaliumia ja 100 mg magnesiumia. Toisena koevuonna toiselle ja kolmannelle sadolle lisättiin 1500 mg typpeä ja kaliumia ja 100 mg magnesiumia, viimeiselle sadolle 500 mg typpeä ja kaliumia ja 50 mg magnesiumia. Kolmantena koevuonna toiselle sadolle lisättiin 1000 mg typpeä, 500 mg kaliumia ja 50 mg magnesiumia. Viimeinen raiheinäsato korjattiin ensimmäisten yöpakkasten jälkeen. Toisena ja kolmantena koevuonna kaliumin ja magnesiumin lisäysmäärät perustuivat edellisenä syksynä, kasvukauden jälkeen, koemaille tehtyyn viljavuusanalyysiin. Viljavuusanalyysissa määritettiin koemaan helppoliukoiset P-, K-, Mg- ja Ca- pitoisuudet sekä pH. Lisäksi maanäytteiden fosfori fraktioitiin Hedley'n menetelmällä (Hedley ym. 1982).

Vesiliukoinen fosfori on kasveille välittömästi käyttökelpoisessa muodossa. Hedleyn fraktioinnissa toisen uuttoliuksen (0,5 M NaHCO<sub>3</sub>) katsotaan uuttavan vaihtuvassa muodossa olevaa fosforia, joka toimii puskurina maanesteen fosforipitoisuudelle. Tällöin vesiuuttoisen fosforipitoisuuden laskiessa NaHCO<sub>3</sub>:iin uuttuva fosforifraktio korvaa maanesteestä poistunutta fosforia. Tätä uuttoliuosta kutsutaan myös Olsenin uuttoliukseksi, ja sitä käytetään useissa maissa kasveille käyttökelpoisen fosforipitoisuuden määrittämiseen. Emäksisen uuttoliuksen (0,1 M NaOH) katsotaan uuttavan rautaan sitoutunutta fosforia ja viimeisenä tuleva 1 M HCl uuttaa pääasiassa apatiittifosforia.

Jokaisena koevuonna koeastioista otettiin maanäyte koko maan syvyydeltä (noin 0,5 l) viimeisen niiton jälkeen. Tämän jälkeen koeastioiden maa halkaistiin keskeltä, pintaosa käännettiin ylösalaisin ja astiat peitettiin muovilla ja säilytettiin verkkoseinäisessä astiakoehallissa talven yli. Seuraavana keväänä koemat seulottiin 6 mm:n seulalla, raiheinän juuret sijoitettiin koeastian pohjalle, ja raiheinän siemenet kylvettiin kuten edellä.

Orgaanisten fosforilannoitteiden sisältämän fosforin biologinen käyttökelpoisuus arvioitiin suhteuttamalla superfosfaatti (SF) ja naudan turvelanta (NTL) -käsittelyissä saatuihin raiheinän kuiva-ainesatoihin ja sadon ottamiin fosforimääriin. Verrannekäsittelyjen satofunktiot olivat muotoa  $y = A + B \cdot (1 - e^{-Cx})$ , jossa A on raiheinäsadon tai fosforin oton minimi ja B fosforilannoituksella saavutettu vaste sadossa tai fosforin otossa, C on vakio sadolle tai fosforin otolle ja x käytetty fosforilannoitusmäärä (mg P kg<sup>-1</sup> maata). Satofunktiot tehtiin GraphPad Prism 4 -tietokoneohjelmalla. Biologisen käyttökelpoisuuden arvioinnissa käytettiin sekä SF:lla että NTL:lla saavutettuja satotuloksia, koska näiden fosforilähteiden sisältämät typpi- ja hiilipitoisuudet edustivat ääripäitä tutkituissa fosforilähteissä. Siten niiden typpi- ja hiilisisällön mahdollista vaikutusta fosforin käyttökelpoisuusarvioon voitiin lieventää. Tutkituilla fosforilannoitteilla saavutetut satotulokset sijoitettiin sekä SF:n että NTL:n satofunktioihin ja ratkaistiin vastaavan sadon tuottamiseen vaadittavat SF- ja NTL -fosforin määrät. Näin saatujen fosforimäärien keskiarvo suhteutettiin fosforilähteissä lisättyyn fosforimäärään. Jos lannoitteen antama satovaste oli superfosfaarilla ja naudan turvelannalla saavutettujen satovasteiden keskiarvo, käyttökelpoisuudeksi tuli 100 %. Kunkin orgaanisen fosforilähteen biologinen käyttökelpoisuus suhteessa SF- ja NTL -fosforiin laskettiin kolmen fosforilisäyksen (25, 50 ja 100 mg P kg<sup>-1</sup>) keskiarvona ja lopullinen käyttökelpoisuus edelleen SF- ja NTL -vertailun keskiarvona.

## 2.4 Kenttäkokeet

### 2.4.1 Koealueiden viljelyhistoria

Koetta edeltävinä vuosina Pälkäneen kentällä oli viljelty ohraa (1998) ja viherkesantonurmea (1999–2002). Edellisenä kesänä 2003 alue oli avokesannolla, se ruiskutettiin syksyllä kahdesti glyfosaatilla (Roundup) ja kynnettiin. Keväällä 2004 koekentälle levitettiin dolomiittikalkkia (8 t ha<sup>-1</sup>), joka mullattiin joustopiikkiäkeellä.

Jokioisten koekenttä oli ollut nurmella vähintään koko 1980 -luvun. Vuonna 1989 alue salaojitettiin ja kylvettiin viherkesantonurmelle (timotei-nurminata-seos) vuonna 1990. Vuodesta 1996 lähtien nurmi niitettiin vuosittain elokuun alussa. Nurmea ei lannoitettu eikä niittojälkeä korjattu. Syksyllä 2004 koekenttä ruiskutettiin glyfosaatilla, kynnettiin, ja kalkittiin keväällä 2005 (6 t ha<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>, neutralointikyky 33 %, nopeavaikutteista 25 %).

### 2.4.2 Maanäytteiden otto

Ennen kenttäkokeiden perustamista jokaisesta koeruudusta otettiin maanäytteet 0–25 ja 25–40 cm:n syvyydeltä. Pälkäneellä otettiin maanäytteet kaikista koeruuduista myös sadonkorjuun jälkeen syksyllä 2004 ja 2007. Syksyllä 2004 näytesyvytydet olivat 0–10 ja 10–25 cm ja syksyllä 2007 kenttäkokeen päättymisen jälkeen osakokeissa A ja B 0–10, 10–25 ja 25–40 cm ja osakokeessa C 0–2,5, 2,5–10, 10–25 ja 25–40 cm. Osakokeesta A otettiin maanäytteet myös ennen kylvöä keväällä 2006 LLJ-, SFV-, P0N70- ja P0N0 -käsittelyistä 0–10 ja 10–25 cm:n syvyydeltä. Jokioisilla otettiin maanäytteet 0–10 ja 10–25 cm syvyydeltä ennen kokeen kylvöä keväällä 2006. Sadonkorjuun jälkeen syksyllä 2007 ruuduista otettiin maanäytteet 0–10, 10–25 ja 25–40 cm:n syvyydeltä.

Ennen viljavuusanalyysia maanäytteet kuivattiin lämpökaapissa (35 °C) ja jauhettiin (2 mm). Ennen kenttäkokeiden perustamista sekä Pälkäneellä että Jokioisilla koemaiden viljavuusfosforiluokka oli huono (Taulukko 2).

### 2.4.3 Fosfori-, typpi-, ja kaliumlannoitusmäärät

Molemmissa kenttäkokeissa käytetyt fosforilannoitteet olivat samat kuin astiakokeessa, paitsi että RKL puuttui (Taulukko 1). Pälkäneen kenttäkoe koostui kolmesta osakokeesta: A, B ja C. Osakokeessa A neljän vuoden fosforilannoitus jaettiin kahteen annokseen, jotka levitettiin kokeen perustamisen yhteydessä keväällä 2004 ja keväällä 2006. Osakokeessa B ja C neljän vuoden fosforilannoitus annettiin kokonaisuudessaan keväällä 2004. Jokioisilla kolmen vuoden fosforilannoitus annettiin kokeen perustamisen yhteydessä keväällä 2005.

Lisätyt kokonaisfosforin määrät Pälkäneellä olivat KKL-, PKL-, LLJ- ja SF-käsittelyissä 40 ja 100 kg ha<sup>-1</sup>. Kokonaisfosforin lisäysmäärät NTL-käsittelyissä olivat osakokeessa A 20 ja 40 kg ha<sup>-1</sup> ja osakokeessa B 15 ja 30 kg ha<sup>-1</sup>. Syynä NTL:n pienempiin lisäysmääriin oli sen sisältämä korkea liukoisen typen määrä suhteessa fosforipitoisuuteen (Taulukko 1). Kun suurin NTL:n keralisäys (30 kg P ha<sup>-1</sup>) tuotti liukoista typpeä 63 kg ha<sup>-1</sup>, suurimmilla (100 kg P ha<sup>-1</sup>) KKL-, PKL- ja LLJ -lisäyksillä saatiin liukoisen typen määriksi 43, 29 ja 1 kg ha<sup>-1</sup> vuonna 2004.

Jokioisilla kokonaisfosforilisäykset olivat KKL-, PKL- ja LLJ -käsittelyissä 25, 50, 100 ja 200 kg ha<sup>-1</sup>. Superfosfaattifosforia lisättiin 6, 25, 50 ja 100 kg ha<sup>-1</sup> ja NTL:ssa kokonaisfosforia 10, 25, 35 ja 50 kg ha<sup>-1</sup>. Myös Jokioisilla korkeasta liukoisen typen pitoisuudesta (Taulukko 1) johtuen suurin fosforilisäys NTL:ssa oli pienempi kuin muilla orgaanisilla lannoitteilla. Käytetyn liukoisen typen analyysimenetelmän mukaan arvioituna suurimmalla NTL:n määrällä tuli annetuksi liukoista typpeä 128 kg ha<sup>-1</sup>, kun KKL, PKL ja LLJ tuottivat enimmäkseen 83, 57 ja 2 kg ha<sup>-1</sup>.

Pälkäneen osakokeissa oli superfosfaattiverranteet (SFV), joissa lisättiin vuosittain superfosfaattifosforia 6, 10, 30 tai 75 kg ha<sup>-1</sup>. Poikkeuksena oli vuosi 2006, jolloin osakokeisiin A ja B ei lisätty 6 kg ha<sup>-1</sup> tasoa, vaan ne jäivät ilman fosforilannoitusta. Kontrollikäsittely ei saanut fosforilannoitusta lainkaan (P0N70), mutta sille annettiin väkilannoitetyypeä 70 kg ha<sup>-1</sup>. Lisäksi mukana oli käsittely, johon ei lisätty myöskään typpeä (P0N0). Jokioisten kokeessa oli käsittely, jossa annettiin vuosittain maan fosforilukuun perustuva ympäristötuen (2000–2006) sallima fosforilannoitus superfosfaattina (35/43 kg P ha<sup>-1</sup>). Liitteessä 1 on eriteltyä kenttäkokeiden vuosittaiset fosforilannoitusmäärät.

Orgaanisten lannoitteiden sisältämä liukoinen typpi otettiin huomioon typpilannoituksen määrässä ensimmäisinä koevuosina. Molemmissa kokeissa liukoisen typen vaje korvattiin salpietarilla (NPK: 26–0–1). Pälkäneellä koemaan korkeasta orgaanisen aineksen pitoisuudesta johtuen vuosittainen liukoisen typen kokonaislisäys viljoille oli syytä rajoittaa määrään 70 kg ha<sup>-1</sup> ja nelivuotisen kenttäkokeen aikana osakokeiden A ja B vuosittainen typpilannoitus oli 70 kg ha<sup>-1</sup>. Osakokeessa C lisättiin väkilannoitetyypeä ensimmäisenä koevuonna vain superfosfaattiverranteisiin sekä P0N70-ruutuihin. Toisena koevuonna osakokeen C käsittelyt saivat väkilannoitetyypeä 70 kg ha<sup>-1</sup> lukuunottamatta P0N0-käsittelyä. Osakokeesta C korjattiin nurmivuosina (2006–07) kaksi satoa ja molemmille sadoille lisättiin pintalannoituksena väkilannoitetyypeä 100 kg ha<sup>-1</sup>. Jokioisilla tavoitteellinen liukoisen typen kokonaislisäys oli kaikkina koevuosina 90 kg ha<sup>-1</sup>.

Pälkäneellä osakokeisiin A ja B lisättiin vuosittain kaliumia (kalisuola) 70 kg ha<sup>-1</sup>. Osakokeeseen C lisättiin kaliumia ensimmäisenä vuonna 70 kg ha<sup>-1</sup>, toi-

sena vuonna (ohra + nurmisiemen) 90 kg ha<sup>-1</sup> ja nurmivuosina molemmille niitoille 70 kg ha<sup>-1</sup>. Jokioisilla vastaava vuosittainen kaliumlisäys oli 30 kg ha<sup>-1</sup>.

#### 2.4.4 Kokeiden perustaminen ja hoito sekä viljelykierrot

Ensimmäisenä koevuonna orgaaniset fosforilannoitteet samoin kuin salpietari levitettiin koeruutuihin käsin. Levitystarkkuuden parantamiseksi jokainen koeruutu jaettiin osaruutuihin (4 m + 4 m + 4,5 m). Orgaanisten lannoitteiden ja salpietarin levittämisen jälkeen koeruudut jyrättiin Pälkäneellä kelajyrsimellä ja Jokioisilla tasojyrsimellä 6 cm:n syvyyteen. Ennen kylvämistä kaliumlannoite levitettiin koeruuduille kylvölannoittimella ja seuraavaksi kylvön yhteydessä superfosfaatti samoin kylvölannoittimella. Koska hoitokäytäviä ei ollut, kylvö keskeytettiin ruutujen välissä ja lannoittimen säätöpyörää säädettiin ruutua vastaavalle superfosfaattimäärälle tai superfosfaattia syöttävästä akselista poistettiin sokka, jolloin ruutuun ei tullut superfosfaattia lainkaan. Vuosina 2006 ja 2007 lannoitteita levitettiin maan pintaan käsin työnnettävällä lannoittimella (typpi- ja kaliumväkilannoite sekä Pälkäneen osakokeen C superfosfaatti SFV-käsittelyissä).

Pälkäneen osakokeiden A ja B viljelykierto oli ohra – kaura – ohra – ohra ja osakokeen C ohra – ohra + nurmisiemen – nurmi – nurmi. Jokioisten kokeen viljelykierto oli ohra – kaura – ohra. Ohran (*Kunnari*) tavoitteellinen kylvötiheys oli 500 itävää siementä neliölle. Pälkäneen osakokeissa A ja B kauran (*Roope*) kylvötiheys oli 450 ja Jokioisten kokeessa 500. Pälkäneen osakokeessa C nurmi perustettiin suojaviljaan (Ohra, *Kunnari*) vuonna 2005, ja suojaviljan tavoitteellinen kylvötiheys oli 300 itävää siementä neliölle. Nurmi oli timotei-nurminataseos. Timotein (*Tuukka*) osuus nurmiseoksessa oli 65 % ja nurminadan (*Ilmari*) 35 %. Käytetty siemenmäärä oli 26 kg ha<sup>-1</sup>. Nurmi kylvettiin suojaviljan kylvön jälkeen koeruutuihin nähden poikittain. Liitteessä 2 on kokeitten kylvö- ja korjuupäivät sekä kasvinsuojelutoimenpiteet. Kokeet kylvettiin TUME KL-2500 kylvölannoittimella paitsi Pälkäneellä vuonna 2006, jolloin käytettiin Simultanin 2,5 m leveää kylvölannoitinta. Bruttoreutujen pituus oli Pälkäneellä 12,5 m, josta osakokeissa A ja B rajattiin nettoruudun pituudeksi 10 m vuosina 2004–05 ja 8,5 m 2006–07. Osakokeen C nurmiruutujen nettopituus oli 10 m. Jokioisten kokeessa bruttoreudun pituus oli 12,5 m. Nettoruudun pituus oli ensimmäisenä koevuonna 10 m ja toisena sekä kolmantena vuonna 9,5 m.

Pälkäneellä osakokeet A ja B jätettiin sängelle talven yli joka vuosi ja osakoe C ensimmäisenä talvena, ja jyrättiin keväällä ennen kylvöä. Jokioisilla puolestaan koeruudut jyrättiin syksyllä puintien jälkeen sekä keväällä ennen kylvöä 6 cm:n syvyyteen. Jyräntä tehtiin aina koeruutujen suuntaisesti ja vastakkaisesti edelliseen jyräntään nähden. Tällä pyrittiin välttämään maan siirtyminen koeruudusta toiseen.

Pälkäneellä kylvön ja sadonkorjuun välinen sademäärä taltioitiin kahdella ja Jokioisilla yhdellä sademittarilla (Liite 2). Liitteessä 3 on koepaikkojen kuukausittaiset sekä 30 vuoden keskiarvolämpötilat 1.5.–30.9. väliselle ajalle.

## 2.4.5 Kasvustonäytteet

Pälkäneellä otettiin kasvustonäytteitä ohrasta kahtena eri ajankohtana vuonna 2004. Ensimmäinen näyte otettiin 2–3 -lehtivaiheessa, mutta osa superfosfaattia saaneista koejäsenistä muodosti tässä vaiheessa jo ensimmäistä sivuversoa (BBCH skaalalla 12–21). Toinen kasvustonäyte otettiin korren pituuskasvuvaiheessa. Eniten fosforilannoitusta saaneet kasvustot olivat edenneet kehityksessään hieman pidemmälle (BBCH 31–39). Tähkälletulovaiheessa (BBCH 41–49) mitattiin vain kasvuston korkeus. Tällöin heikoiten kasvaaneet käsittelyt olivat edelleen korrenkasvuvaiheessa (BBCH 37). Ensimmäinen orasnäyte otettiin neljännessä siemenrivistä, koeruudun kulmista (1,5 m ruudun sisältä) ja keskeltä molemmin puolin koeruutua noin 50 cm:n matkalta. Tällöin näyte koostui noin 100 oraasta. Näytteeseen otettiin koko maanpäällinen kasvusto 2 cm:n korkeudelta. Toinen kasvustonäyte kerättiin kuten edellä, mutta toisesta siemenrivistä, ja näytteeseen otettiin kaksi nuorinta kasvulehteä. Näytteenottohetkellä kasvuston korkeus mitattiin nuorimman kasvulehden kärkeen. Ensimmäinen kasvustonäyte otettiin 17.6. ja toinen 5–6.7. Kolmannen kerran kasvuston korkeus mitattiin 13.7.

Vuonna 2006 selvitettiin Pälkäneen osakokeessa A fosforin saannin ajoittamisen vaikutusta ohran kehitykselle ottamalla kasvustonäytteitä eri kasvuvaiheissa. Kokeeseen valittiin LLJ-, SF-, P0N0- ja P0N70 -käsittelyt. Osakokeen A koeruutuihin lisättiin toinen puolikas neljän vuoden fosforilannoituksesta keväällä 2006 (LLJ- ja SF-koeruudut). Yhdeksään koeruutuun (koeruudut 4, 5, 22, 27, 33, 36, 46, 56 ja 57) sijoitettiin lämpötilasensorit (Thermochron iButton) 6 cm:n syvyyteen. Lämpötila mitattiin neljän tunnin välein. Samanlaisilla lämpötilanapeilla mitattiin ilman lämpötilaa 1,65 cm:n korkeudelta (Liite 4) sijoittamalla lämpötilanappi pellon reunalle varjoon kuusen runkoa vasten. Lisäksi jokaiseen koeruutuun asetettiin 30 cm:n pituiset TDR-puitot maan kosteuden mittaamiseksi. Kosteusmittaukset tehtiin kuusi kertaa kasvukauden aikana (Liite 5). Kasvustonäytteet otettiin kasvukauden aikana kolme kertaa: 2–3 -lehtivaiheessa (BBCH 12–13), korrenkasvun alkuvaiheessa (BBCH 31), ja tähkälletulovaiheessa (BBCH 45–49). Näytteet kerättiin koeruutujen päistä, 1,75 m ruudun sisältä, ja 3–5 orasta jokaisesta siemenrivistä, poislukien kaksi uloimmaista siemenriviä. Tällöin näyte koostui noin 100 oraasta. Ensimmäinen kasvustonäyte sisälsi koko maanpäällisen biomassan 2 cm:n korkeudesta ylöspäin. Kahteen viimeiseen näytteeseen tuli kaksi nuorinta kasvulehteä.

Jokioisten kokeesta kasvustonäytteet otettiin kahdessa eri kasvuvaiheessa, korrenkasvun alkuvaiheessa (BBCH 31) ja tähkälletulovaiheessa (BBCH 45–47) vuonna 2005. Kasvustonäytteet kerättiin toiseksi uloimmista siemenriveistä, keskeltä koeruutua noin 1,5 m:n matkalta. Molempiin kasvustonäytteisiin tuli mukaan kaksi nuorinta kasvulehteä.

Kasvustonäytteet kuivattiin 65 °C:ssa ja jauhettiin vasaramyllyllä (1 mm:n seula). Näytteiden typpipitoisuus määritettiin Kjeldahl -menetelmällä. Fosforipitoisuus määritettiin märkäpolton (joko H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> -hajoitus koeputkissa tai väkevä HNO<sub>3</sub> -hajoitus mikroalouunissa) jälkeen ICP-OES:lla.

#### **2.4.6 Kokeiden korjuu ja satojen käsittely**

Kokeet korjattiin Pälkäneellä koeruutupuimurilla (Wintersteiger/Hege, työleveys 1,5 m) ja osakokeen C nurmi (2006–07) korjattiin Haldrupilla (1,5 m), kun taas Jokioisten kokeessa käytettiin koeruutupuimuria (MF 8, 2,1 m). Liitteessä 2 on kokeiden korjuuajankohdat. Vuonna 2006 Jokioisten kenttäkokeen korjuuta edeltävänä viikonloppuna syysmyrsky varisutti osan kauranjyvistä maahan. Kahtena ensimmäisenä koevuonna Pälkäneen koeruutujen reunat puitiin lopuksi talouspuimurilla ruutuihin nähden poikittain, mikä siirsi todennäköisesti olkia pois alkuperäisiltä ruuduilta. Jokioisilla käytetyssä koeruutupuimurissa oli olkisilppuri, ja oljet jäivät suurimmaksi osaksi puitavaan koeruutuun.

Koeruuduista korjatusta viljasadosta otettiin punnituksen jälkeen edustava näyte (noin 1 kg), joka kuivattiin (viljanäytteet verkkopohjaisissa laatikoissa) puhaltamalla näytteen läpi lämmintä (noin 30 °C) ilmaa. Puintikosteus määritettiin kuivaamalla 40 g:n erä jyviä 105 °C:ssa yön yli (18–20 h). Kuivattu jyväerä puhdistettiin kahdesti tähkäpuimurilla (Saatmeister) ja lopuksi 2 mm:n seulalla. Roskat punnittiin roskapitoisuuden määrittämiseksi. Viljan laadullisista ominaisuuksista määritettiin hehtolitraino (Ordior, GAC2100 Grain Analysis Computer) ja tuhannen siemenen paino (Pata-Lab Ay, Numigral). Tuhannen siemenen paino määritettiin kuudesta analyysikerrasta, suurin ja pienin tulos hylättiin ja lopuista laskettiin keskiarvo. Jyvänäytteet jauhettiin, ja typpi- ja fosforipitoisuudet analysoitiin kuten kasvustonäytteistä.

Nurmiruutujen tuoresato punnittiin niittokoneeseen kiinnitetyllä vaa'alla, minkä jälkeen koeruudun sato tyhjennettiin ruudun päähän. Tästä otettiin edustava näyte (noin 10 osanäytettä) muovipussiin ja suljettiin tiiviisti. Kuiva-aine-, typpi- ja fosforipitoisuus määritettiin kuten edellä. Sadot muunnettiin rehuyksiköisiksi MTT:n rehutaulukoiden mukaisesti (MTT, 2006).

## 2.5 Tilastollinen testaus

Koekäsittelyjen väliset eroavaisuudet analysoitiin astiakokeessa Tukeyn testillä viiden prosentin merkitsevyystasolla ( $p < 0,05$ ). Analyysissa käytettiin SPSS –tilasto-ohjelmaa. Koska koekentällä voi esiintyä vaihtelua, kenttäkokeet suunniteltiin niin, että järjestely pystyi huomioimaan vaihtelua sekä kokeen pituudesta leveyssuunnassa. Käytetty koeasetelma oli ns. row-column, joka pyrkii sijoittamaan saman käsittelyn koeruudut niin, etteivät ne ole pellolla useaan kertaan samassa rivissä tai sarakkeessa. Pälkäneen kokeessa käsittelyt jaettiin kolmeen ryhmään, jotka muodostuivat fosforilannoitustasoista, kontrolleista (P0N70 ja P0N0) sekä superfosfaattiverranteista. Jokioisten kokeessa käsittelyjä ei jaettu ryhmiin. Tulostaulukoissa käsittelyiden vaikutuksia on verrattu P0N70 ja P0N100 (Pälkäne) ja P0N90 (Jokioinen) -käsittelyihin. Koekäsittelyjen paikat arvottiin CycDesignN -ohjelmalla. Käsittelyt olivat samoissa koeruuduissa joko neljän (Pälkäne) tai kolmen (Jokioinen) vuoden ajan ja jokaisesta oli neljä kerrannetta. Pälkäneen kenttäkokeen kenttäkartat on esitetty liitteissä 6 ja 7 ja Jokioisten liitteessä 8.

Pälkäneellä koeruutujen kosteus määritettiin silmämääräisesti neliportaisella asteikolla sateisena kesällä 2004 (13.7.). Koska koeruutujen bruttoleveys oli 3 m ja koeruudut kylvettiin 2,5 m:n kylvökoneella, jäi koeruutujen väliin 0,5 m leveä käytävä. Kosteusasteella 1 koeruudun välinen käytävä oli kuiva ja maahan ei kävellessä syntynyt painauma. Asteella 2 maahan syntyi kävellessä painauma, asteella 3 painaumassa seisoivat vesi ja asteella 4 koko käytävällä seisoivat vesi. Tämä karkea kosteusmääritys otettiin huomioon vuoden 2004 tilastotoanalyseissa.

## 3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

### 3.1 Fosforin välitön liukoisuus

Hedleyn fraktioinnin mukaan naudan turvelannan fosforista 81 % oli vesiliukoisessa muodossa, kun vastaava osuus SF:ssa oli 87 % (Taulukko 4). Sen sijaan lihaluujauhon ja ketunlannan sisältämästä fosforista suurin osa (65–90 %) oli vaikealiukoista eli vain happoon liukenevassa muodossa. Turkiseläinten rehun fosforista jopa 30 % voi olla peräisin lihaluujauhosta ja sisältää paljon luuperäistä, vaikeasti liukenevaa fosforia. Lisäksi turkiseläinten rehu sisältää myös muita heikkoliukoisen fosforin lähteitä, kuten teurassivutuotteita ja perkuujätettä (silakkaa). Orgaanisen fosforin osuus kokonaisfosforista oli korkein NTL:ssa, mutta siinäkin vain 14 % kokonaisfosforista (Taulukko 4).



Taulukko 4. Inkubointi- ja astiakokeessa käytettyjen lannoitteiden sisältämän fosforin jakautuminen Hedleyn fraktioihin, mg P g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta.

	RKL	KKL	PKL	LLJ	NTL	SF
Pi-vesi	7,6	6,1	0,5	1,0	3,5	86,6
Po-vesi	1,6	1,5	0,8	0,8	0,3	-
Pi-NaHCO <sub>3</sub>	1,9	0,9	0,7	2,4	0,2	0,7
Po-NaHCO <sub>3</sub>	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	-
Pi-NaOH	0,3	0,2	0,5	0,4	0,1	5,4
Po-NaOH	0,3	0,3	0,2	-	0,2	-
Pi-HCl	21,0	19,0	24,8	53,1	0,2	7,3
ΣPi	30,7	26,3	26,6	57,0	4,1	99,9
ΣPo	1,9	2,1	1,2	0,9	0,6	-
ΣP	32,7	28,3	27,7	57,9	4,7	99,9

## 3.2 Inkubointikoe

Inkubointia edeltänyt koemaiden kalkitus kasvatti molemmissa koemaissa alunperin olleen fosforin liukoisuutta (vesi- ja NaHCO<sub>3</sub> -uuttoista fosforipitoisuutta), enemmän kuitenkin savimaassa (Taulukko 5). Myös happouuttoinen fosforipitoisuus kasvoi hieman kalkituksen seurauksena. Sen sijaan NaOH -uuttoinen fosforipitoisuus laski kalkituksen vuoksi. Tulokset olivat odotetun kaltaisia, sillä kalkituksen tiedetään lisäävän happamassa maassa olevien fosforivarojen liukoisuutta. Esimerkiksi Lakasen ja Vuorisen (1963) tutkimuksessa viljavuusuoittoinen fosforipitoisuus kasvoi kolminkertaiseksi maan pH:n kasvaessa arvosta 5,9 arvoon 7,3. Vastaavia tuloksia on saatu monissa muissa tutkimuksissa (Jaakkola ym. 1977, Hartikainen 1989b, Saarela ja Sippola 1990, Saarela ym. 2004).

Inkuboinnin ensimmäiseen näytteenottoon mennessä koemaiden pH:t olivat jonkin verran laskeneet lähtötilanteeseen verrattuna, eniten savimaan korkeimmalla kalkitustasolla, jopa yhden pH -yksikön verran. Koemaiden pH:n aleneminen oli todennäköisesti seurausta orgaanisen aineksen mineralisaatiosta (Curtin ja Smillie 1995). Ensimmäisen näytteenoton jälkeen koemaiden pH:ssa ei enää tapahtunut vastaavanlaisia muutoksia (Liite 9). Kalkituksen seurauksena koemaiden pH:t vaihtelivat happamasta (pH 5,0) aina emäksiselle alueelle saakka (pH 8,2) inkuboinnin aikana.

### 3.2.1 Epäorgaaninen fosfori

Liitteissä 10–17 on esitetty fosforilannoitteiden vaikutus yksittäisten epäorgaanisten fosforifraktioiden pitoisuuksiin inkuboinnin edistyessä. Happamassa hietamaassa nurmen turvelanta ylläpiti aluksi vesiliukoista fosforipitoisuutta korkeammalla tasolla kuin muut fosforilähteet, mutta kaksi vuotta kestäneen

Taulukko 5. Fosforin liukoisuus koemaissa ennen inkubointia Hedleyn fraktioinnin mukaan, mg P kg<sup>-1</sup> maata.

Kalkitustaso	Hietamaa			Savimaa		
	0	1	2	0	1	2
pH	5,9	7,5	8,5	5,7	7,5	8,8
Pi-vesi	3,8	4,2	6,1	2,2	3,5	11,4
Po-vesi	5,2	5,5	6,2	12,2	9,8	16,8
Pi-NaHCO <sub>3</sub>	42,0	43,7	56,4	25,3	39,7	72,1
Po-NaHCO <sub>3</sub>	34,1	24,6	23,5	85,0	65,7	65,1
Pi-NaOH	127,5	129,8	97,7	154,4	124,0	102,4
Po-NaOH	110,4	86,0	58,4	326,8	186,1	125,9
Pi-HCl	228,0	240,2	245,1	191,2	210,8	237,8
ΣPi	401,3	417,9	405,4	373,1	378,0	423,6
ΣPo	149,7	116,0	88,1	424,0	261,6	207,8
ΣP	551,0	534,0	493,5	797,0	639,5	631,4

inkuboinnin lopussa vesiliukoinen fosforipitoisuus oli laskenut lähes samalle tasolle muiden käsittelyiden kanssa (Liite 10). Puolen vuoden jälkeen LLJ oli kasvattanut vähiten vesiliukoista fosforipitoisuutta, mutta vuoden inkuboinnin jälkeen vesiliukoinen fosforipitoisuus oli jo lähes samalla tasolla RKL-, KKL-, PKL-, LLJ- ja SF -käsittelyissä (Liite 10). Myös happamassa savimaassa kaikki fosforilähteet lisäsivät vesiliukoista fosforipitoisuutta ja vuoden jälkeen vesiliukoinen fosforipitoisuus oli samalla tasolla kaikilla fosforilisäyksillä (Liite 11).

Kalkitustasoilla 1 ja 2 SF kohotti vesiliukoista fosforipitoisuutta aluksi yleensä enemmän kuin NTL, mutta inkuboinnin kuluessa vesiliukoiset fosforipitoisuudet olivat samalla tasolla (Liitteet 10 ja 11). Vaikka hieta- ja savimaan kalkitseminen lisäsi maassa jo olevan fosforin liukoisuutta, se heikensi merkittävästi fosforin liukoisuutta RKL-, KKL-, PKL- ja LLJ -tuotteista ja suurimmalla kalkkilisäyksellä vesiliukoiset fosforipitoisuudet olivat samalla tasolla kontrollikäsittelyn kanssa koko inkubointiperiodin ajan. Sensijaan kalkitus edisti NTL:n ja SF:n sisältämän fosforin pysymistä vesiliukoisena. Naudan turvelannassa oli jo alunperin korkea vesiliukoisen fosforin pitoisuus (Taulukko 4). Lanta voi myös heikentää fosforin sitoutumista maahan (Holford ym. 1997), koska lannan sisältämät orgaaniset hapot kilpailevat fosforin kanssa samoista sitoutumispaikoista (Øgaard 1996, Haynes ja Mokolobate 2001).

Samoin kuin vesiuuttoista fosforia, kaikki fosforilähteet kohottivat myös 0,5 M NaHCO<sub>3</sub>:iin uuttuvaa fosforimäärää kalkitsemattomissa maissa, mutta kalkitus heikensi fosforin liukoisuutta RKL-, KKL-, PKL- ja LLJ -käsittelyissä (Liitteet 12 ja 13). Kun vesiuutto kuvaa kasveille välittömästi käytettävissä olevaa fosforivarantoa, NaHCO<sub>3</sub>:n katsotaan antavan kuvan labiilista eli vaihtuvassa muo-

dossa olevasta fosforimäärästä, josta vapautuu kasveille käyttökelpoista fosforia maanesteen fosforipitoisuuden laskiessa.

Ilman kalkitusta fosforilisäykset kasvattivat 0,1 M NaOH:iin uuttuvaa fosforimäärää molemmissa koemaissa (Liitteet 14 ja 15). Kalkitustasolla 1 RKL, KKL, PKL ja LLJ kasvattivat hietamaasta NaOH:n uuttamaa fosforipitoisuutta inkuboinnin edistyessä toisin kuin  $\text{NaHCO}_3$ -fraktiossa, mutta kalkitustasolla 2 käsittelyt eivät poikenneet kontrollin vastaavasta fosforipitoisuudesta. Savimaalla ei ollut havaittavissa yhtä selvää fosforipitoisuuden kasvua vaikealiukoisempien fosforilähteiden kohdalla NaOH-fraktiossa kalkitustason kasvussa (Liite 15). Helppoliukoisempien fosforilähteiden (NTL ja SF) lisäys hietamaahan kasvatti NaOH:iin uuttuvaa fosforipitoisuutta molemmilla kalkitustasoilla enemmän kuin vaikeampiliukoiset fosforilähteet, mutta erot pienenevät inkuboinnin edistyessä (Liite 14). Inkuboinnin edistyessä vaikealiukoisemmista fosforilähteistä vapautuva fosfori todennäköisesti sitoutui ensimmäiseksi NaOH:n -uuttamaan fosforifraktioon, jonka katsotaan kuvaavan Fe-oksidiin sitoutunutta fosforia. Tulos poikkeaa siitä, että lannoitefosfori sitoutuisi ensisijaisesti Al-oksidiin pinnalle (Hartikainen 1989a). Tässä kokeessa maan alhaisesta fosforiluvusta johtuen Fe-oksidiin kapasiteetti sitoa fosforia oli todennäköisesti suuri, ja fosfori sitoutui ensisijaisesti korkeimman sidosenergian kohtaan (He ym. 1994) muodostaen vahvemman sidoksen raudan kuin alumiinin kanssa (Aura 1978).

Kalkitsemattomissa maissa happouttoiset (1 M HCl) fosforipitoisuudet olivat kaikissa käsittelyissä lähes samalla tasolla inkubointikokeen päättyessä (Liitteet 16 ja 17). Kalkitus aiheutti sen, että happouttoinen fosforipitoisuus jäi RKL-, KKL-, PKL- ja LLJ-käsittelyissä huomattavasti korkeammalle tasolle kuin NTL- ja SF-käsittelyissä. Tulos osoitti selvästi, että luupohjaisen fosforin liukeneminen hidastuu maan pH:n kohotessa.

### 3.2.2 Orgaaninen fosfori

Liitteissä 18–23 on esitetty fosforilähteiden vaikutus yksittäisten orgaanisten fosforifraktioiden pitoisuuksiin inkuboinnin edistyessä. Hedleyn fraktioinnissa orgaaninen fosforipitoisuus (Po) määritettiin kolmesta ensimmäisestä fraktiosta (vesi, 0,5 M  $\text{NaHCO}_3$  ja 0,1 M NaOH). Käytetyistä fosforilähteistä ainoastaan NTL ylläpiti vesiliukoista Po-pitoisuutta kontrollia korkeammalla tasolla kaikilla kalkitustasoilla koko inkubointikokeen ajan (Liitteet 18 ja 19). Inkuboinnin edistyessä vesiliukoinen Po-pitoisuus pieneni NTL-käsittelyssä hietamaassa, mutta savimaassa NTL ylläpiti Po-pitoisuuden samalla tasolla koko inkubointikokeen ajan korkeinta kalkitustasoa lukuunottamatta. Kahden vuoden inkuboinnin jälkeen vesiliukoinen Po-pitoisuus oli kalkitsemattomassa savimaassa edelleen kaksinkertainen muihin käsittelyihin verrattuna. Muihin fos-

forilähteisiin verrattuna NTL myös sisälsi eniten vesi- ja  $\text{NaHCO}_3$  -uuttoista orgaanista fosforia (12 %, Taulukko 4).

Kummassakaan koemaassa fosforilisäys ei vaikuttanut  $\text{NaHCO}_3$ :n ja NaOH:n uuttamaan Po-pitoisuuteen, mutta Po-määrät laskivat inkuboinnin edistyessä ja kalkitustason kasvaessa (Liitteet 20, 21, 22 ja 23). Hietamaan  $\text{NaHCO}_3$  -uuttoinen Po-pitoisuus laski inkuboinnin edistyessä suhteellisesti enemmän kuin savimaan vastaava pitoisuus, mutta määrällisesti muutos oli molemmissa maissa samansuuruinen. Korkeimmalla kalkitustasolla NaOH uutti vain puolet siitä, mitä kalkitsemmistä maista. Happaman maan kalkitsemisen on todettu lisäävän orgaanisen fosforin liukoisuutta (Murphy 2007). Myös Condron ym. (1993) havaitsivat  $\text{NaHCO}_3$ - ja NaOH -uuttoisen Po -pitoisuuden laskevan kalkituksen seurauksena. Orgaanisen fosforipitoisuuden aleneminen kalkituissa koemaissa johtui todennäköisesti maan mikrobiaktiivisuuden lisääntymisestä, mikä nopeuttaa orgaanisen aineksen mineralisaatiota (Haynes 1982).

### 3.2.3 Fosforifraktiot yhteensä

Hietamaassa epäorgaaniset fosforifraktiot sisälsivät suuremman osuuden fosforista kuin savimaassa (Kuvat 1 ja 2). Lisäksi hietamaan epäorgaaninen fosforipitoisuus suureni hieman kuuden ja 24 kuukauden välisellä ajanjaksolla, kun taas savimaassa ei ollut havaittavissa yhtä selkeää muutosta.

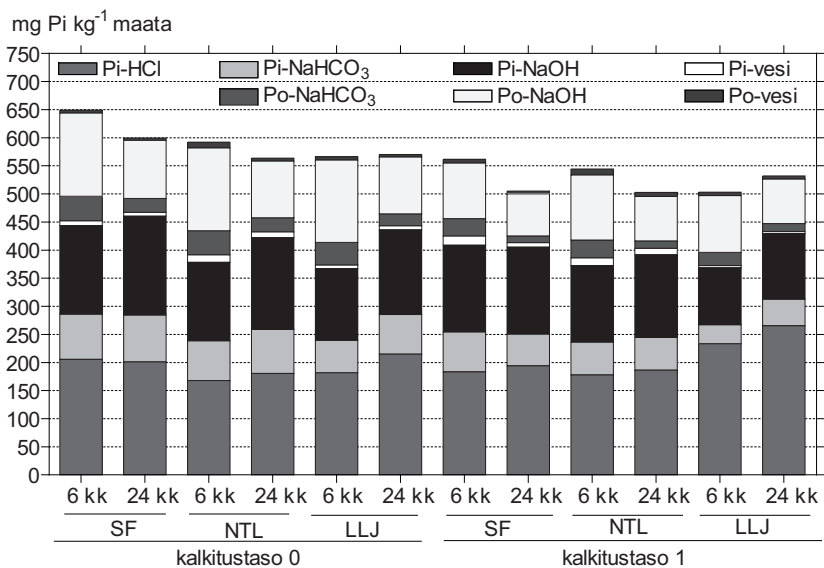
Lähtötilanteessa orgaanisen fosforin osuus fraktioiden yhteenlasketusta fosforipitoisuudesta oli hietamaassa 27 % ja savimaassa 53 %. Kailan (1948) tutkimusten mukaan kyntökerroksen orgaanisen fosforin osuus Suomen kivennäismailla oli keskimäärin 40 % ja turvemilla 60 %.

## 3.3 Astiakoe

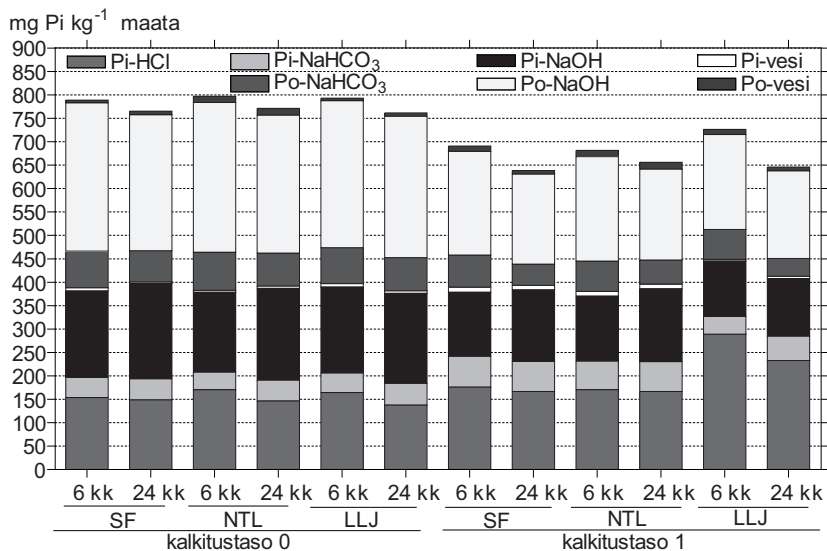
### 3.3.1 Kuiva-ainesato

#### *Ensimmäinen niitto*

Kolmivuotisen kokeen aikana raiheinän satoerot käsittelyiden välillä olivat suurimmillaan heti ensimmäisessä niitossa (Kuva 3). Naudan turvelanta (NTL) antoi suurimmat kuiva-ainesadot kaikilla fosforilisäystasoilla. Superfosfaatin NTL:aa heikompi sato johtui kuitenkin todennäköisesti typen saatavuudesta, erityisesti suurimman fosforilisäyksen kohdalla. Astiakokeen perustamisen yhteydessä kaikkiin koeastioihin lisättiin 800 mg epäorgaanista typpeä, mutta tämän lisäksi orgaaniset fosforilannoitteet sisälsivät myös typpeä, eniten NTL. Raiheinän fosforin otto kasvoi sekä SF- että NTL -käsittelyissä lisääntyneen fosforilannoituksen myötä (Liite 24), lähes kaksinkertaiseksi suurimmalla fos-

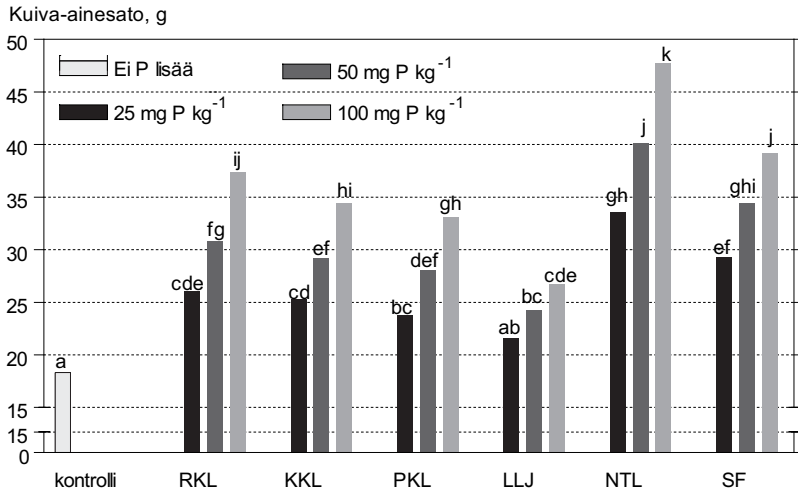


Kuva 1. Fosforin jakautuminen Hedleyn fraktioihin hietamaassa superfosfaatti (SF)-, naudan turvelanta (NTL)- ja lihaluu jauho (LLJ) -käsittelyissä kalkitustasoilla 0 ja 1 kuuden ja 24 kuukauden inkuboinnin jälkeen.



Kuva 2. Fosforin jakautuminen Hedleyn fraktioihin savimaassa superfosfaatti (SF)-, naudan turvelanta (NTL)- ja lihaluu jauho (LLJ) -käsittelyissä kalkitustasoilla 0 ja 1 kuuden ja 24 kuukauden inkuboinnin jälkeen.

förlisäyksellä. Typhen kokonaisotto pysyi tällöin SF-käsittelyissä samalla tasolla mutta kasvoi NTL-käsittelyissä (Liite 24). Tämä viittaa siihen, että suurim-



Kuva 3. Raiheinän kuiva-ainesadot ensimmäisessä niitossa. Eri kirjaimilla merkityt käsittelyt poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Tukeyn testi,  $p < 0,05$ ).

malla SF-lisäyksellä raiheinä kärsi typen puutteesta. Kasvien typpi- ja fosforipitoisuuksien suhteen katsotaan indikoivan näiden ravinteiden puutosta (Güsewell 2004). Alle 10 oleva suhde kertoo typen puutteesta, kun taas yli 20 olevat arvot indikoivat fosforin puutosta. Tässä tutkimuksessa suurimmalla SF-lisäällä N/P -suhde oli 9,3.

Fosforin saatavuuden merkitys aivan raiheinän kehityksen alkuvaiheessa tuli esille ensimmäisessä niitossa. Vaikka raiheinä oli ottanut fosforia kaiken kaikkiaan lähes saman verran käsittelystä riippumatta (taso 25 mg P kg<sup>-1</sup>), sato oli merkittävästi suurempi NTL-käsittelyssä muihin fosforilähteisiin verrattuna. NTL:n antama sadonlisä oli 4,7 -kertainen vastaavaan LLJ-fosforimäärään verrattuna.

Raiheinä otti maasta fosforia toiseksi suurimmalla fosforilisäyksellä (50 mg P kg<sup>-1</sup>) RKL-, KKL- ja PKL -käsittelyissä ja kaikilla LLJ-fosforilisäystasoilla yhtä paljon kuin pienimmällä fosforilisäyksellä. Kuitenkin raiheinän kuiva-ainesadot kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi (Kuva 3). Suurempien fosforilisäyksiensa aikaansaamat sadonlisät osoittivat fosforin saatavuuden parantuneen kasvun alkuvaiheessa. Fosforin saatavuutta kasvien alkukehityksen aikana onkin pidetty perinteisesti tärkeänä. Fosforin puutos alkuvaiheessa voi heikentää kasvua, vaikka fosforin saatavuus myöhemmin lisääntyisi (Grant ym. 2001).

Raiheinän pienimmät fosforipitoisuudet NTL- ja SF -käsittelyissä johtuvat todennäköisesti ns. laimenemiseffektistä. Tällöin voimakkaan kasvun seurauksena ravinnepitoisuudet pienenevät.

### *Ensimmäisen koevuoden niitot 2–4*

Raiheinän satoerot tasoittuivat toisesta niitosta alkaen (Liite 25). Eniten raiheinän kuiva-ainesadot suhteessa ensimmäiseen niittoon alenivat NTL-käsittelyssä, vaikka sato oli edelleen korkein naudan turvelantaa käytettäessä. Sen sijaan heikkoliukoisemmat fosforilähteet lisäsivät kasvukauden edetessä raiheinän kuiva-ainesatoa suhteellisesti enemmän kuin ensimmäisessä niitossa.

Toisessa niitossa typen puute saattoi olla kasvua rajoittava tekijä suurimmalla fosforilisäystasolla RKL-, KKL-, NTL- ja SF -käsittelyissä, sillä raiheinän N/P -suhde oli alle 10 ja pienimmillään 8,3 (SF-käsittely, Liite 25). Kolmannesta niitosta eteenpäin typpi ei todennäköisesti enää rajoittanut kasvua. Jokaisessa niitossa N/P -suhde oli korkein kontrollissa, mikä on luonnollista, koska fosforin puutos oli siinä suurin.

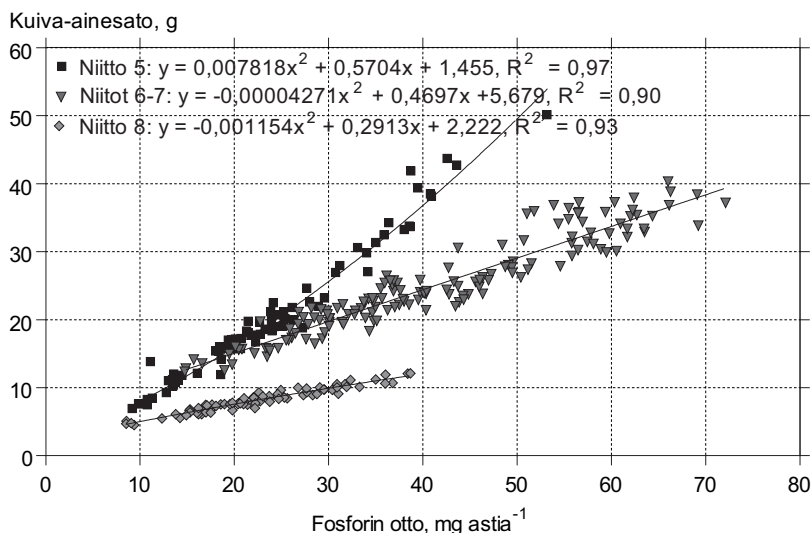
Toisesta niitosta alkaen heikompiliukoisetkin fosforilähteet kasvattivat raiheinän fosforinottoa merkittävästi kahden pienimmän fosforilisäystason välillä (25 ja 50 mg P kg<sup>-1</sup>). Siten mahdollinen fosforin puute kasvukauden alussa ei enää vaikuttanut raiheinän fosforinottoon. Raiheinää pidetäänkin tehokkaana fosforinottajana (Brink ym. 2001).

### *Toinen koevuosi*

Toisena koevuonna raiheinän kasvu oli heikompaa kuin ensimmäisenä vuonna (Liite 26) ja fosforinpuutos alkoi heikentää kasvua yhä enemmän varsinkin kahdella pienimmällä fosforitasolla. Suurimmat fosforilisäykset RKL-, KKL-, NTL- ja SF -lannoitteissa pystyivät kuitenkin tuottamaan lähes vastaavat sadot kuin ensimmäisenä koevuonna. Ensimmäisen ja toisen koevuoden satovasteet eivät ole kuitenkaan aivan vertailukelpoisia, sillä toisena koevuotena annettiin enemmän typpeä niittoa kohden (800 vs. 1500 mg N astia<sup>-1</sup>).

Myös raiheinän kohonneet N/P -suhteet osoittivat fosforinpuutoksen voimistuneen toisena koevuonna (Liite 26). Kasvukauden toisessa niitossa N/P -suhteet kuitenkin laskivat, mikä voi johtua kasvaneesta juuristosta ja siten raiheinän tehokkaammasta fosforin otosta. Raiheinällä on korkea juuri/verso -suhde, minkä vuoksi se voi tulla toimeen pienemmällä maanesteen fosforipitoisuksilla (Föhse ym. 1988). Raiheinä pystyy myös tehostamaan fosforinottoaan saataavuuden parantuessa (Breeze ym. 1985).

Toisena koevuonna raiheinäkasvuston viimeinen niitto tehtiin nuorempana kuin aikaisempien satojen kohdalla johtuen sään kylmenemisestä, ja raiheinän fosforipitoisuus oli suurempi kuin edeltävissä niitoissa (Liite 26). Kuva 4 osoittaa, kuinka sadon fosforipitoisuus korreloi huonosti itse sadon kanssa ( $R^2=0,03$ ), vaikka erillisillä niittokerroilla fosforin oton ja sadon välillä oli selkeä yhteys.



Kuva 4. Raiheinän kuiva-ainesadon ja fosforin onon välinen yhteys toisena koevuonna (niitot 5–8).

Raiheinän kasvu heikkeni tässä kokeessa jo ennen kuin fosforipitoisuus oli alle  $1 \text{ mg g}^{-1}$ , minkä katsotaan indikoivan vakavaa fosforinpuutosta (Yli-Halla 1991). Ensimmäisessä niitossa fosforipitoisuudet olivat alhaisimmat suurimman fosforilisäyksen NTL- ja SF -käsittelyissä,  $1,0 \text{ mg g}^{-1}$  kuiva-ainetta. Kuitenkin näissä käsittelyissä saavutettiin selvästi suurimmat sadot. Tähän on syytä todennäköisesti kasviaineksen fosforipitoisuuden laimeneminen voimakkaan kasvun seurauksena.

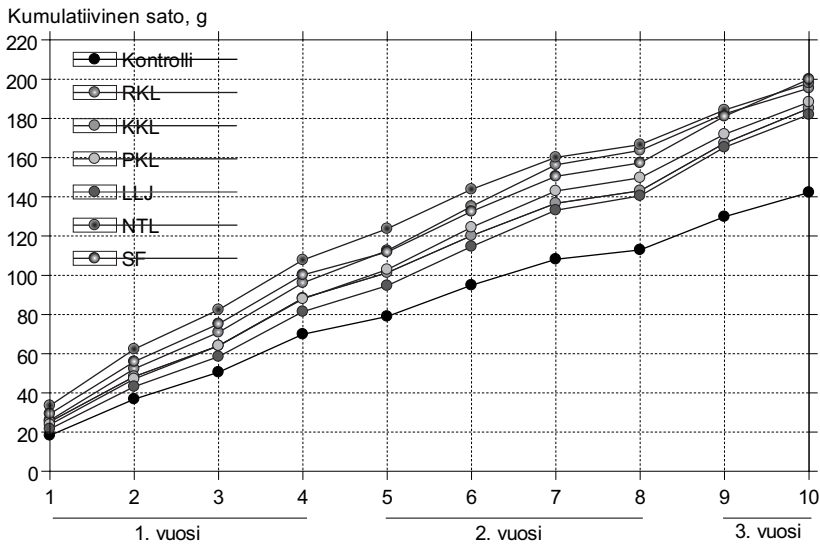
### *Kolmas koevuosi*

Kolmantena koevuonna raiheinän kasvu oli huomattavasti hitaampaa kahteen ensimmäiseen koevuoteen verrattuna. Raiheinä niitettiin ensimmäisen kerran 83 päivän kuluttua kylvöstä, kun ensimmäisenä ja toisena koevuonna ensimmäiset niitot tehtiin 48 ja 64 päivän kuluttua kylvöstä. Hitaammasta kasvusta johtuen kolmantena vuonna korjattiin vain kaksi raiheinäsatoa (Liite 27).

Samoin kuin edellisinäkin koevuosina raiheinän fosforipitoisuudet kasvoivat hieman toisessa niitossa, mutta pitoisuudet olivat kuitenkin huomattavasti alhaisemmalla tasolla kuin aikaisempina vuosina (Liite 27).

Kuvassa 5 on esitetty pienimmän fosforilisän ( $25 \text{ mg kg}^{-1}$ ) kumulatiiviset sadot kolmivuotisen kokeen aikana. NTL:n ja SF:n aikaansaama sadonlisä suhteessa heikompiliukoiseiin fosforilähteisiin (RKL, KKL, PKL ja LLJ) oli suurin ensimmäisenä koevuonna. Toisesta koevuodesta eteenpäin satoerot fosforilähte-





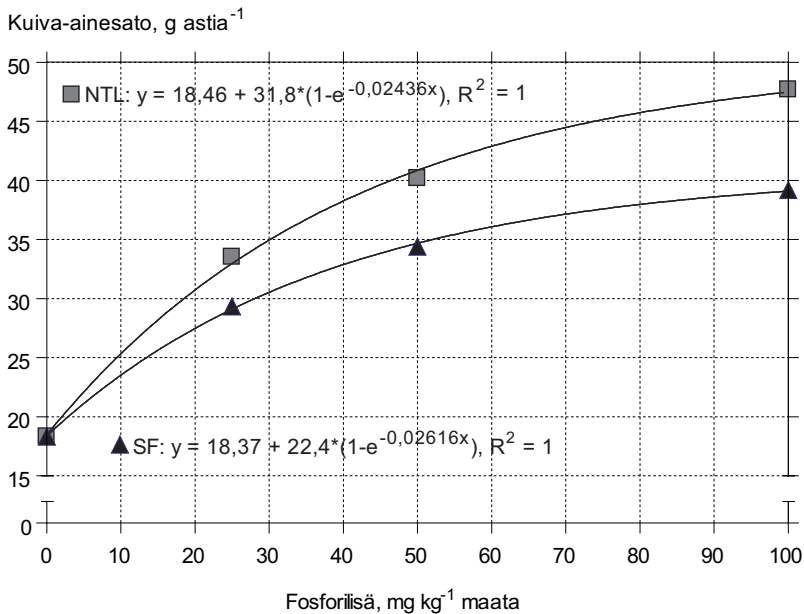
Kuva 5. Kumulatiivinen raiheinän kuiva-ainesato fosforilisäystrytäsolla 25 mg kg<sup>-1</sup> maata kolmivuotisen astiakokeen aikana.

den välillä pienenevät, mikä osoittaa vaikealiukoisten fosforilähteiden olevan NTL- ja SF -fosforin suhteen vähintään samanveroisia pidemmällä aikavälillä. Fosforin puutoksen seurauksena kasvit pystyvät alentamaan ritsosfäärin pH:ta (Marschner ym. 1987), mikä saattaa lisätä kalsiumiin sitoutuneen fosforin liukoisuutta ja siten myös sen käyttökelpoisuutta kasveille. Myös inkubointikoe osoitti RKL-, KKL-, PKL- ja LLL -fosforin kasvattaneen maan vesiliukoisen fosforipitoisuuden happamassa maassa samalle tasolle kuin SF kuuden kuukauden inkuboinnin jälkeen.

### 3.3.2 Fosforin käyttökelpoisuus astiakokeessa

Raiheinän kuiva-ainesatojen ja fosforin oton perusteella nautan turvelannan (NTL) sisältämä fosfori oli väkilannoitefosforin (SF) veroista. Tämä sopii yhteen sen kanssa, että vesiliukoisen fosforin osuus NTL:n kokonaisfosforista oli lähes vastaava kuin SF:n (Taulukko 4). Tästä syystä sekä NTL- että SF -käsitteilyiden kuiva-ainesatoja ja fosforin ottoa käytettiin verranteina laskettaessa fosforin käyttökelpoisuusarviota heikompileukoisille fosforilähteille (RKL, KKL, PKL ja LLJ). Kuvassa 6 on esitetty raiheinän satovasteet NTL:lla ja SF:lla ensimmäisessä niitossa.

Ensimmäisen raiheinäsadon perusteella lasketut fosforin välittömät käyttökelpoisuudet RKL-, KKL-, PKL- ja LLJ -käsitteilyissä olivat 54, 43, 35 ja 19 %.



Kuva 6. Raiheinän kuiva-ainesato naudan turvelanta- (NTL) ja superfosfaattikäsittelyssä (SF) ensimmäisessä niitossa.

Kasvukauden edetessä raiheinän sadot paranivat ketunlantaa ja lihaluujauhoa saaneissa käsittelyissä suhteessa naudan turvelantaan ja superfosfaattiin, mikä kasvatti koko kasvukauden laskennallista käyttökelpoisuutta. Ensimmäisen kasvukauden viimeisessä niitossa fosforin käyttökelpoisuudet RKL-, KKL-, PKL- ja LLJ -käsittelyissä olivat 100, 71, 50 ja 65 %. Vastaavat arvot koko kolmen vuoden kokeelle (10 raiheinäsatoa) olivat 87, 74, 69 ja 63 %.

Fosforin käyttökelpoisuus fosforin oton perusteella laskettiin samalla periaatteella kuin kuiva-ainesatojen kohdalla. Ensimmäiselle niitolle laskettu fosforin välitön käyttökelpoisuus oli RKL-, KKL- ja PKL- ja LLJ -käsittelyissä 61, 55, 33 ja 50 %. Käyttökelpoisuusasteet olivat suurempia kuin määritettäessä kuiva-ainesatojen perusteella, koska kasvun alkuvaiheessa fosforin saatavuus vaikealiukoisista fosforilähteistä heikensi kasvua, mutta sadon fosforimäärään se vaikutti vähemmän.

Kymmenen niiton perusteella laskettu fosforin käyttökelpoisuus fosforin kokonaisoton perusteella RKL-, KKL-, PKL- ja LLJ -käsittelyissä oli 100, 90, 75 ja 83 %. Mielestämme kuiva-ainesatojen perusteella laskettu fosforin käyttökelpoisuus kuvaa kuitenkin paremmin tutkittujen kotieläintalouden sivutuotteiden sisältämän fosforin biologista käyttökelpoisuutta, sillä viljelyssä pyritään yleensä ennemminkin tuottamaan satoa kuin kasvattamaan sen fosforisisältöä.

### 3.3.3 Fosforin liukoisuus astiakoemaassa

Kontrollikäsitellyssä epäorgaaniset vesi-,  $\text{NaHCO}_3$ - ja  $\text{NaOH}$ -uuttoiset fosforipitoisuudet laskivat kokeen edetessä. Sensijaan happouuttoinen fosforipitoisuus pysyi lähes ennallaan kolmivuotisen kokeen aikana (Liitteet 28 ja 29 ja 30). Eniten laskivat vesi- ja  $\text{NaHCO}_3$ -uuttoiset Pi-pitoisuudet, 80 ja 41 %, mutta niiden yhteenlaskettu väheneminen vastasi vain 34 % Pi-fraktioiden kokonaismäärän alenemisesta. Määrällisesti  $\text{NaOH}$ -uuttoinen Pi-pitoisuus laski eniten, 26,9 mg  $\text{kg}^{-1}$  maata, vastaten 25 %  $\text{NaOH}$ -fraktion Pi-pitoisuudesta, ja 48 % Pi-fraktioiden kokonaismäärän alenemisesta.

Kaikki fosforilähteet olivat kohottaneet ensimmäisen kasvukauden jälkeen vesi-,  $\text{NaHCO}_3$ - ja  $\text{NaOH}$ -fraktioiden fosforipitoisuuksia, mutta happouuttoista fosforipitoisuutta kohottivat ainoastaan vaikealiukoiset fosforilähteet eli RKL, KKL, PKL ja LLJ (Liite 28).

Ensimmäisen kasvukauden jälkeen vesiuuttoinen, epäorgaaninen fosforipitoisuus oli samalla tasolla eri fosforilähteitä käytettäessä. Sensijaan orgaanisen fosforin pitoisuus kasvoi merkittävästi suurimmalla NTL-lisäyksellä (Liite 28). Vesiuuttoisen orgaanisen fosforifraktion kasvu vastasi NTL:n sisältämää vesi- ja  $\text{NaHCO}_3$ -uuttoista orgaanista fosforimäärää. Seuraavina vuosina vesiuuttoisen orgaanisen fosforin pitoisuus NTL-käsittelyissä laski, todennäköisesti mineralisaation seurauksena, mutta pysyi kuitenkin korkeammalla tasolla kuin muissa fosforilannoitetta saaneissa koemaissa (Liitteet 29 ja 30). Myös inkubointikokeessa NTL kasvatti vesiuuttoisen Po-pitoisuuden muita fosforilähteitä huomattavasti korkeammalle tasolle, mutta pitoisuus laski lähes samalle tasolle muiden käsittelyiden kanssa kahden vuoden inkuboinnin jälkeen (Liite 18).

Superfosfaatti kasvatti eniten  $\text{NaHCO}_3$  ja  $\text{NaOH}$ -uuttoista epäorgaanista fosforipitoisuutta. Happamissa maissa väkilannoitefosfori sitoutuu Al- ja Fe-oksideihin (Kaila 1961, Yli-Halla 1989, Hartikainen 1989a).

Vaihtelu orgaanisen fosforin määrässä  $\text{NaHCO}_3$  ja  $\text{NaOH}$ -fraktioissa saattaa johtua paitsi lannoitteiden eroista myös raiheinän juurten erittämistä orgaanisista yhdisteistä fosforin puutoksen seurauksena. Raiheinällä voi olla vaikutusta orgaanisen fosforin pitoisuuksiin, sillä inkubointikokeen  $\text{NaOH}$ -fraktiossa ei havaittu vastaavaa eroa orgaanisessa fosforipitoisuudessa (Liite 22). Fosforin puute lisää orgaanisten happojen erityistä juurista (Jones 1998), ja nämä voivat lisätä mikro-organismien kasvua ja aktiivisuutta ritsosfäärissä (Toal ym. 2000). Lisääntynyt mikrobiaktiivisuus ritsosfäärissä voi puolestaan lisätä orgaanisen fosforin määrää  $\text{NaHCO}_3$ - (Helal ja Sauerbeck 1984, Chen ym. 2002) ja  $\text{NaOH}$ -fraktioissa (Zoysa ym. 1997, Zoysa ym. 1999). Guo ym. (2000) mukaan  $\text{NaHCO}_3$ -uuttoinen orgaaninen fosforifraktio voi myös toimia kasvien fosforilähteenä, kun epäorgaanisen fosforin saatavuus laskee.

On luonnollista, että ainoastaan vaikealiukoiset fosforilähteet kasvattivat happoliukoista fosforipitoisuutta, eniten LLJ, sillä niiden mukana maahan lisätiin kalsiumfosfaatteja (Liitteet 28, 29 ja 30). Ensimmäisen kasvukauden jälkeen suurimmalla LLJ -lisäyksellä 70 % annetusta kokonaisfosforin määrästä oli edelleen happoliukoisessa muodossa. Toisena koevuonna happoliukoinen fosforipitoisuus laski, mikä oli seurausta luupohjaisten fosforiyhdisteiden liukenemisestä. Viimeisenä koevuonna happoliukoiset fosforipitoisuudet kuitenkin kasvoivat, myös SF -käsittelyssä (Liite 30). Tähän oli todennäköisesti syytä koemaiden kalkitseminen ennen viimeisen vuoden kylvöä. Myös inkubointikokeessa maan kalkitseminen kasvatti happouttoista fosforipitoisuutta. Guo ym. (2000) havaitsivat happoliukoisen fosforifraktion kasvavan kalkituksen seurauksena, mutta heidän mukaansa syntynyt kalsiumfosfaatti ei ollut vakaa pitkälle rapautuneessa maassa. Inkubointikokeessa happoliukoinen fosforipitoisuus oli kahden vuoden jälkeen hieman pienempi kuin astiakoemaissa kolmen vuoden jälkeen. Syytä on todennäköisesti inkubointimaiden hieman alhaisempi pH (noin 5) astiakoemaihin verrattuna (noin 6), minkä vuoksi luupohjaiset fosforiyhdisteet liukenivat nopeammin inkubointikokeessa.

Kaikkina koevuosina happamaan ammoniumasetattiin (viljavuusuttoliuos) uuttuva fosforimäärä oli suurempi niissä maissa, joihin oli lisätty vaikealiukoisempia fosforilähteitä (RKL, KKL, PKL, LLJ) (Liite 31). Kuitenkin raiheinäsadot olivat suurempia NTL- ja SF -käsittelyissä. Tämä osoittaa, että viljavuusutto ei antanut oikeaa kuvaa kasveille välittömästi käyttökelpoisen fosforin määrästä. Syytä yliarviointiin on luupohjaisen kalsiumfosfaatti-fosforin liukeneminen happamaan uuttoliuokseen (pH 4,65). Yli-Hallan (1991) tutkimuksessa viljavuusfosforilukema ennusti heikommin raiheinän fosforinottoa kalkitusta kuin kalkitsemattomasta maasta. Nämä tulokset osoittavat, että kalkituksen seurauksena syntynyttä tai maahan lisättyä luuperäistä kalsiumfosfaattia liukenee happamaan viljavuusuttoliuokseen, mutta saatu tulos yliarvioi kasveille välittömästi käyttökelpoisen fosforimäärän.

## **3.4 Kenttäkokeet**

### **3.4.1 Ohra- ja kaurasato**

Vuoden 2004 erittäin runsassateinen kasvukausi osoitti selvästi, kuinka kasvukauden sääolosuhteet vaikuttavat huomattavasti fosforilannoituksen satovasteisiin. Pälkäneen osakokeessa A 95 % ohran maksimisadosta saavutettiin käytämällä 13 kg ha<sup>-1</sup> superfosfaattifosforia, kun taas kosteammissa olosuhteissa (osakokeet B ja C) vastaavaan satoon vaadittiin 40 ja 50 kg SF-P ha<sup>-1</sup> (Kuva 7). Korrenkasvun alkuvaiheen fosforipitoisuudet kasvustossa olivat ennakoineet korkeampaa satopotentiaalia osakokeessa B, (Liite 32), mutta tämän jälkeen alkanee rankat sateet kyllästivät maan vedellä etenkin osakokeiden B ja C alu-

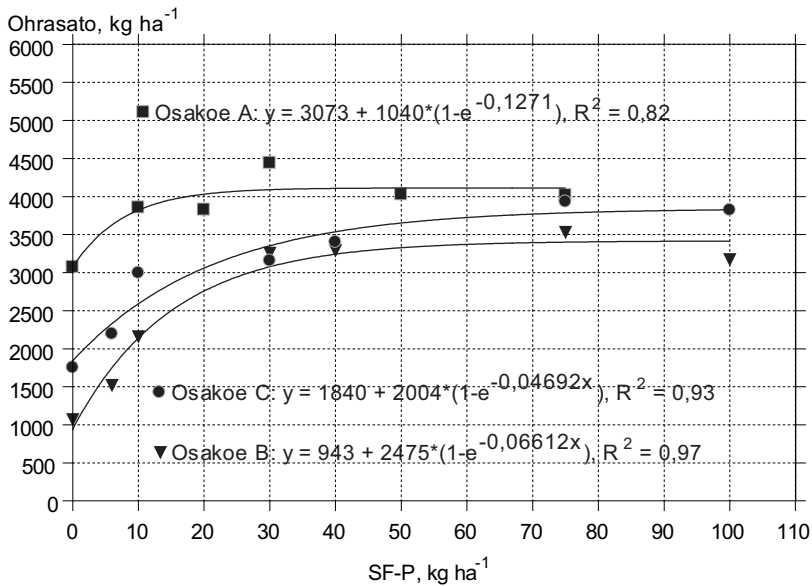
eella. Huonoista kasvuoloista johtuen typen saatavuus ei myöskään tullut kasvua rajoittavaksi tekijäksi.

Tulokset olivat samansuuntaisia niiden havaintojen kanssa, että fosforilannoituksella on yleensäkin saavutettu kokeissa sitä suurempi satovaste, mitä pienemmäksi sato on jäänyt ilman fosforilannoitusta (Valkama ym. 2009). Vähäsatteisempänä kesänä 2006 fosforilannoituksella saavutettiin yhtä suuret satovasteet osakokeissa A ja B (Kuva 8).

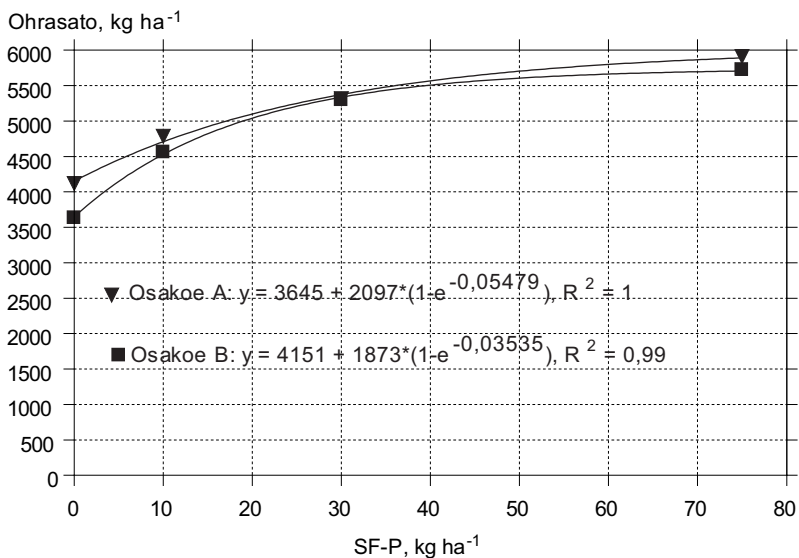
Fosforin saatavuuden merkitys kasvun alkuvaiheessa yhdessä huonojen kasvuolosuhteiden kanssa korostui Pälkäneen osakokeessa C, kun nurmi perustettiin suojaviljaan (Ohra). Kylvä hieman liian märkään maahan aiheutti tiivistymistä ja häyttasi orastumista ajourien kohdalla, ja johti siihen, että ainoastaan kylvön yhteydessä annettu fosforilannoitus kasvatti ohrasatoa tilastollisesti merkittävästi (Liite 42). Tulokset osoittavat, kuinka herkkä ohran sadontuotto oli kylvöolosuhteille ja fosforin saatavuudelle oraan alkukehityksen aikana (vrt. esim. Grant ym. 2001). Suojaviljaan perustettu nurmikasvusto sen sijaan kasvoi hyvin ja syksyllä se oli lähes yhtä pitkä kuin ohra.

Fosforilannoitus antoi suuremmat satovasteet Pälkäneen multamaalla kuin Jokioisten savimaalla, mutta satovastekäyrä oli Jokioisilla loivempi. Jokioisilla tarvittiin ensimmäisenä koevuonna 95 prosentin maksimisadon tuottamiseen 69 kg ha<sup>-1</sup> väkilannoitefosforia (Kuva 9). Myös Sippola ja Marjanen (1978) havaitsivat, että viljavuusluokassa huono satovastekäyrät olivat viljoilla jyrkempiä eloperäisillä mailla kuin savimailla. Fosforilannoitusvasteet laskevat kuitenkin nopeasti maan fosforiluvun kasvaessa, sillä fosforiluvultaan 5–7 mg l<sup>-1</sup> olevilla savimailla saavutetaan 95 % maksimisadosta ilman fosforilannoitusta (Saarela ym. 2006).

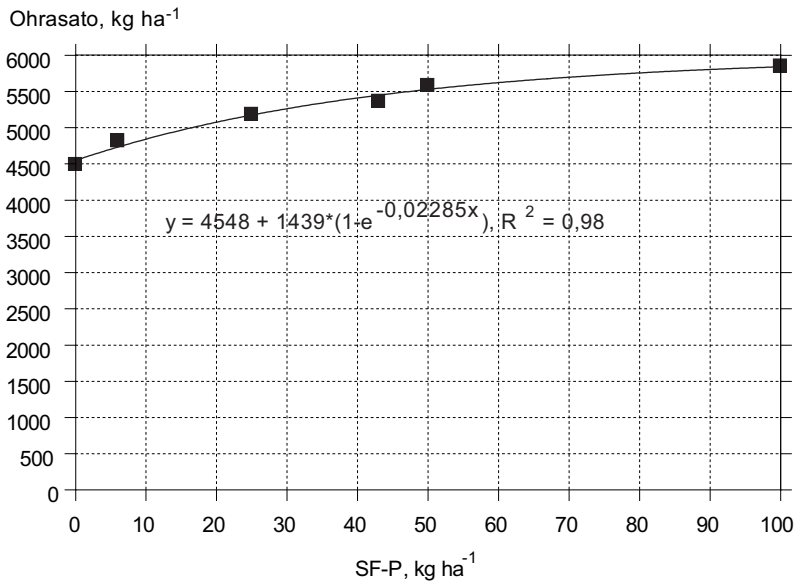
Väkilannoitefosfori nopeutti ohran kehitystä ja kasvatti oraan fosforipitoisuutta enemmän kuin muut fosforilähteet, mutta erot käsittelyjen välillä pienenevät kasvukauden edetessä (Liitteet 32–36). Syynä saattaa olla fosforilannoitteiden erilainen sijoittuminen ohran juuristoon nähden. Väkilannoitefosfori sijoitettiin kylvölannoittimella maahan kylvön yhteydessä, jolloin se oli kasvavan juuriston läheisyydessä, kun taas muut fosforilähteet muokattiin noin 6 cm:n syvyiseen maakerrokseen. Jokioisilla kasvustonäytteiden fosforipitoisuudet olivat Pälkänettä pienempiä, mutta silti ohrasadot olivat saman suuruisia. Jokioisten tulokset myös viittasivat siihen, että tähkälletulovaiheen fosforipitoisuus ei enää vaikuttanut ohran satopotentiaaliin.



Kuva 7. Osakokeiden A, B ja C ohrasadot superfosfaatilla lannoitetuissa koeruuduissa Pälkäneellä vuonna 2004. Osakokeen A koalue oli kasvukauden aikana kuivempi kuin osakokeiden B ja C.



Kuva 8. Pälkäneen osakokeiden A ja B ohrasadot superfosfaatilla lannoitetuissa koeruuduissa vuonna 2006.



Kuva 9. Ohrasato Jokioisilla superfosfaatilla lannoitetuissa koeruuduissa vuonna 2005.

Pälkäneellä prosessoidut ketunlannat (KKL ja PKL) kasvattivat ohrasatoa lisäysvuonna enemmän kuin lihaluujauho (LLJ, Liitteet 37–39). LLJ:n heikompi satovaste johtui todennäköisesti heikon liukoisuuden lisäksi märkyyden aiheuttamasta haitasta juuriston kasvulle. Kuivempänä kasvukautena 2006 ohran satotaso ei kärsinyt.

Suurin NTL -lisäys (20 tai 30 kg P ha<sup>-1</sup>) kasvatti ohrasadot suuremmiksi kuin SF-P -lisäykset (20 tai 40 kg P ha<sup>-1</sup>), huolimatta siitä, että oraan alkukehityksen aikana (BBCH 12–21) fosforipitoisuudet olivat korkeampia SF-käsittelyssä (Liite 32, 20 kg P ha<sup>-1</sup>). Myös vuonna 2006, kun annettiin toinen puoli neljän vuoden fosforilannoituksesta, NTL tuotti tilastollisesti suuremman sadon kuin vastaava SF-käsittely (Liite 43). Tulos osoittaa NTL:n olevan väkilannoitefosforin veroista myös pelto-olosuhteissa ja vahvistaa astiakokeessa saadun tuloksen.

Ensimmäisenä koevuotena Jokioisilla LLJ:n aikaansaama sadonlisä perustui osittain sen sisältämään tyypeen, sillä oraiden (Liite 36) ja jyvien typpipitoisuudet (Liite 47) olivat muita käsittelyjä korkeammat. Lihaluujauhotyypen on havaittu olevan kevätiljoille lähes väkilannoitetyypen veroista (Jeng ym. 2004), mutta käytetty liukoisen tyyppien analyysimenetelmä ei soveltunut LLJ:n typpilannoitusvaikutuksen arviointiin. KKL:n ja PKL:n aiheuttama sadonlisä perustui niiden sisältämään fosforiin (Liite 47).

Jokioisilla ohrasato aleni ja oraan (Liite 36) ja jyvien typpipitoisuudet (Liite 47) laskivat NTL:n lisäsmäärän kasvaessa. Tulokset osoittavat sen, että ohra kärsi tällöin typen puutteesta ja käytetty liukoisen typen analyysimenetelmä ei soveltunut myöskään NTL:lle. Vastaava saattoi tapahtua suurimman KKL -lisäyksen kohdalla, sillä oraan typpipitoisuus oli muita KKL -käsittelyjä alhaisemmalla tasolla.

Nelivuotisen kokeen KKL- ja PKL -lannoituksen jakaminen kahteen annokseen ei tuottanut osakokeessa A suurempaa satoa kuin vastaavan fosforimäärän kerralla saaneissa osakokeen B käsittelyissä saatiin vuonna 2006. Sen sijaan LLJ:lla saavutettiin suuremmat ohrasadot annostelemalla fosforimäärä kahteen osaan. Kolmantena vuonna suurempi LLJ-fosforimäärä ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) tuotti yhtä suuren ohrasadon kuin vuosittain annettu  $30 \text{ kg SF-P ha}^{-1}$  (yhteensä  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Lisäystä seuraavina vuosina orgaanisten fosforilannoitteiden sadontuottokyky oli väkilannoitefosforin veroista. Neljäntenä koevuotena LLJ:lla saadut ohrasadot olivat samantasoisia kuin KKL- ja PKL -käsittelyissä (Liite 45 ja 46). Tulos osoittaa, että pidemmällä aikavälillä lihaluujauhofosfori oli samanveroista ketunlantafosforin ja myös helppoliukoisten fosforilähteiden kanssa.

### 3.4.2 Ohra- ja kaurasadon laatu

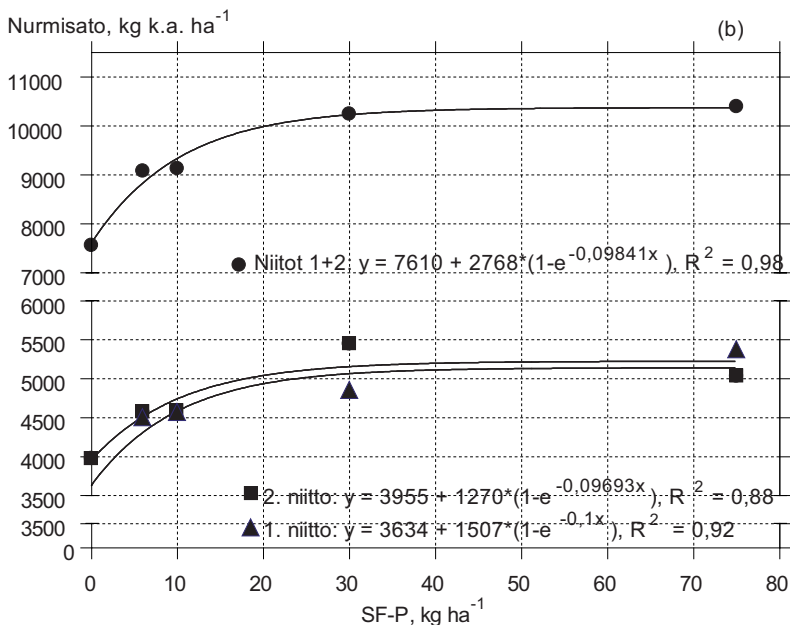
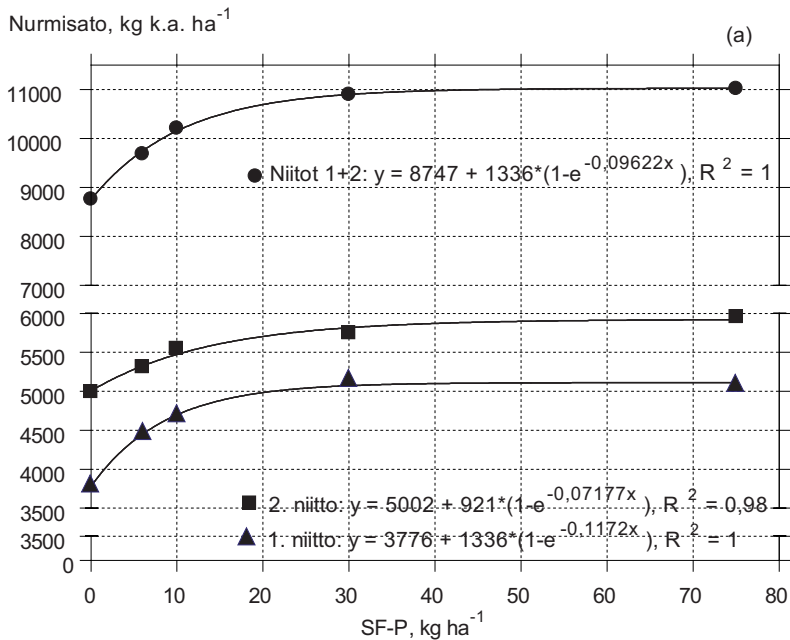
Fosforilannoitus laski ohran hehtolitra- ja tuhannen jyvän painoa Pälkäneellä vuonna 2004 (Liitteet 32–34). Tähän oli todennäköisesti syynä varsin poikkeukselliset kasvuolosuhteet. Alkukesän kasvustonäytteiden perusteella SF-käsittelyiden satopotentiaali oli suurin, mutta jyvän täyttymisvaiheessa liiallinen märkyys ja hapenpuute johtivat siihen, ettei jyviin riittänyt tarpeeksi yhteyttämistuotteita, ja tuhannen jyvän paino laski (Hay ja Porter, 2006). Sen sijaan muina vuosina usein jo pienin kylvön yhteydessä annettu fosforilisäys ( $6 \text{ kg SF-P ha}^{-1}$ ) kasvatti hlp:a ja tjp:a (Liitteet 40–49). Esimerkiksi huonon suoja-viljasadon laatu hyötyi edellisenä vuonna annetusta fosforista (Liite 37).

Fosforilannoitus kasvatti ohran ja kauran fosforipitoisuutta kaikkina muina vuosina paitsi Pälkäneellä sateisena vuonna 2004. Fosforipitoisuus kasvoi enemmän Pälkäneellä (Liitteet 37–46) kuin Jokioisilla (Liitteet 47–49).

### 3.4.3 Nurmisato

Suurimmat nurmisadot saatiin vuosittain annetulla väkilannoitefosforilla ja 95 % maksimisadosta saavutettiin levittämällä nurmen pintaan  $15$  ja  $17 \text{ kg SF-P ha}^{-1}$  vuosina 2006 ja 2007 (Kuva 10). Molempina nurmivuosina kaikki fosforilähteet kasvattivat ensimmäistä nurmisatota, paitsi LLJ 40 -käsittely toisena koevuonna (Liitteet 50 ja 51).





Kuva 10. Nurmisadot Pälkäneellä vuosina 2006 (a) ja 2007 (b).

Prosessoidut ketunlantatuotteet lisäsivät nurmisatoa yhtä paljon. Pienemmillä fosforilisäyksillä (40 kg P ha<sup>-1</sup>) KKL ja PKL tuottivat LLJ:a suuremmat nurmisadot ensimmäisessä niitossa, mutta toisessa niitossa sadot olivat yhtäsuuret. Vastaava havaittiin myös astiakokeessa, jossa lihaluujauhofosforin käyttökelpoisuus raiheinälle parani kasvukauden ja koevuosien kuluessa. Suuremmalla fosforilisäyksel-

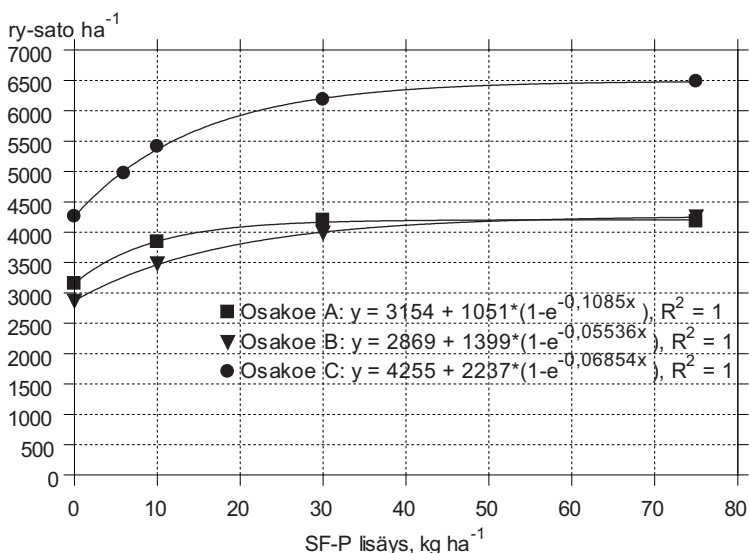
lä (100 kg ha<sup>-1</sup>) LLJ tuotti vastaavat sadot kuin KKL ja PKL. Ketunlantafosfori ja lihaluujauhofosfori olivat jälkivaikutukseltaan väkilannoitefosforin veroista (Liitteet 50 ja 51). Niiden sisältämä vaikealiukoinen fosfori muuttui happamassa maassa (pH noin 6) nurmelle paremmin käyttökelpoiseen muotoon.

Vaikka molemmissa NTL-käsittelyissä sadon mukana poistui enemmän fosforia vuosien 2004–2006 aikana kuin sitä oli lisätty vuonna 2004, NTL kasvatettiin nurmisatona tilastollisesti merkitsevästi vielä vuonna 2007 (Liite 51). Tämä osoittaa, että NTL:lla oli edelleen positiivinen vaikutus maan omien fosforireservien hyväksikäyttöön. Fosforilannoitteiden on todettu alentavan maan omien fosforivarantojen hyväksikäyttöä korkean fosforiluvun maissa, mutta alhaisen fosforiluvun maissa tilanne on ollut vastakkainen (Nielsen ym. 1947, Morel ja Fardeau 1990). Nurmi oli myös tehokas fosforinottaja ottaen huomioon, että maan fosforiluku oli 1 mg l<sup>-1</sup> kentäkokeiden alkaessa 2004.

Vuosittain annettu suurin väkilannoitefosforilisäys (SFV 75) kasvatti nurmen fosforipitoisuutta enemmän kuin muut käsittelyt (Liitteet 50 ja 51). Tällä ei kuitenkaan ollut vaikutusta nurmen satoon, eli kyseessä oli fosforin luksusotto.

### 3.4.4 Koevuosien yhteenlaskettu sato

Ilman fosforilannoitusta (P0N70 ja P0N100 -käsittelyt) Pälkäneen osakokeiden A, B ja C keskimääräiset vuotuiset sadot olivat 3156, 2864 ja 4161 ry ha<sup>-1</sup> vuosien 2004–07 aikana ja Jokioisilla (P0N90 -käsittely) 3775 ry ha<sup>-1</sup> vuosien 2005–

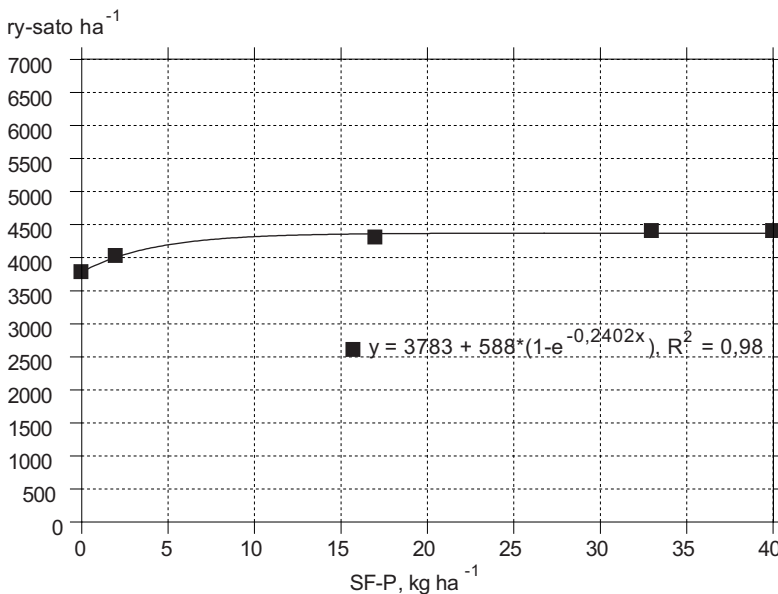


Kuva 11. Pälkäneen osakokeiden A, B ja C keskimääräiset rehuysikkösadot superfosfaatilla lannoitetuissa koeruuduissa vuosien 2004–2007 aikana.

2007 aikana. Kuvassa 11 on esitetty Pälkäneen osakokeiden A, B ja C vuotuiset satofunktiot SFV-käsittelyissä ja kuvassa 12 vastaavasti Jokioisten tulokset väkilannoitetta saaneissa koeruuduissa. Pälkäneen osakokeissa A, B ja C tarvittiin 95 prosenttiin maksimisadosta 15, 34, ja 28 kg ha<sup>-1</sup> suuruinen vuotuinen väkilannoitefosforilisäys. Jokioisilla vastaavan ry-sadon tuottamiseen vaadittava väkilannoitefosforilisäys oli ainoastaan 4 kg ha<sup>-1</sup>. Pälkäneen osakokeiden B ja C suurempi fosforilannoitustarve oli seurausta ensimmäisen koevuoden heikommasta sadosta osakokeeseen A verrattuna. Jokioisilla saadut ry-sadot 6 kg SF-P ha<sup>-1</sup> -käsittelyssä olivat hieman suuremmat kuin 25 kg SF-P ha<sup>-1</sup> -käsittelyssä. Tästä syystä viimeainittu käsittely jätettiin pois satovastekäyrästä (Kuva 12).

Jokioisilla vuotuisella fosforilannoituksella (43/35 kg P ha<sup>-1</sup>) saatu sadonlisä oli vuositasolla keskimäärin 625 ry ha<sup>-1</sup>, kun se Pälkäneen osakokeissa A ja B SFV 30 -käsittelyissä oli keskimäärin 1042 ja 1123 ry ha<sup>-1</sup>. Osasyynä heikompaan satovasteeseen Jokioisten koalueella saattaa olla savimaan luontainen kyky ylläpitää kasveille käyttökelpoista fosforipitoisuutta korkeammalla tasolla, vaikka molemmilla koepaikoilla viljavuusluokka oli huono kokeiden alkaessa.

Jokioisilla kertalannoituksena annettu 100 kg SF-P ha<sup>-1</sup> tuotti vastaavan sadon kuin vuosittainen viljavuusanalyysiin perustuva fosforilannoitus. Vuosittaisella lannoituksella ohrasadot pysyivät kuitenkin samalla tasolla koko ajan, kun

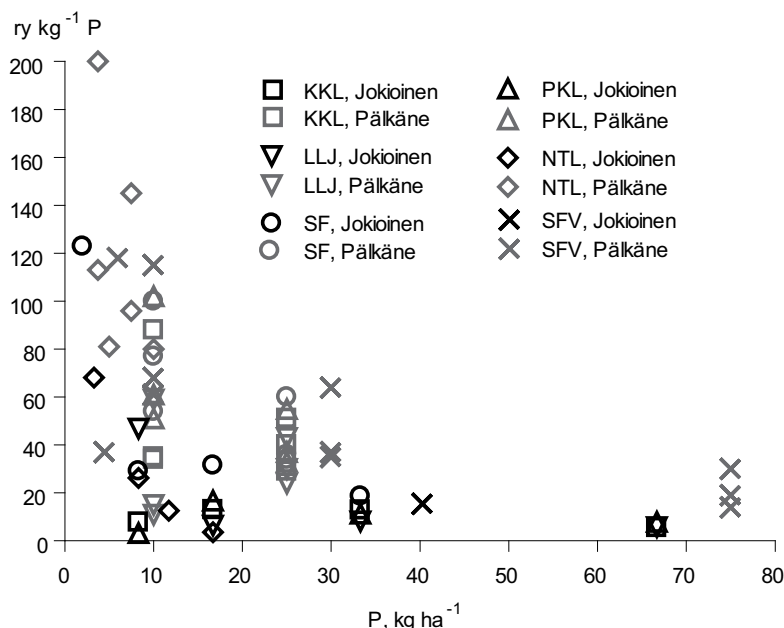


Kuva 12. Jokioisten kenttäkokeen keskimääräiset rehuyksikkösadot superfosfaatilla lannoitetuissa koeruuduissa vuosina 2005-07.

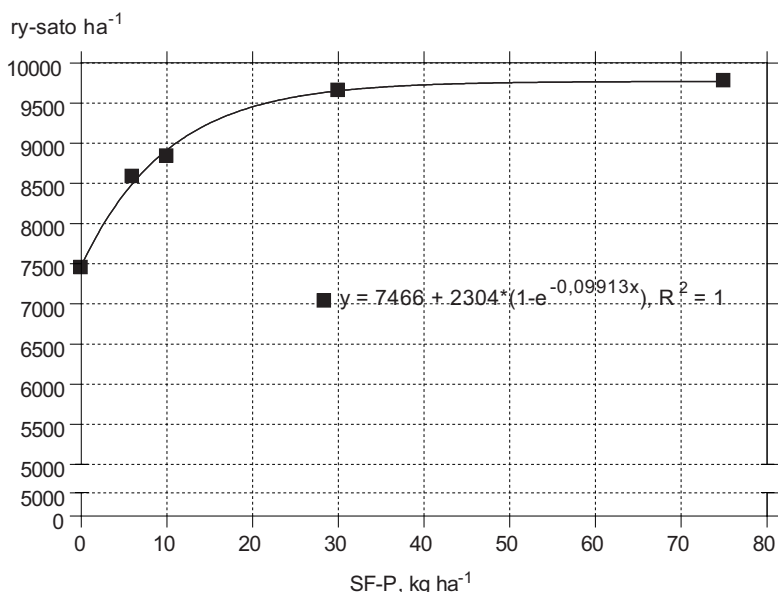
taas 100 kg SF-P ha<sup>-1</sup> -kertakäsittelyn sato oli viimeisenä vuonna noin 800 kg ha<sup>-1</sup> pienempi kuin ensimmäisenä vuonna.

Suurimmat sadonlisät saavutettiin vuosittain levitetyllä väkilannoitefosforilla. Lisättyä fosforikiloa kohden sadonlisä aleni nopeasti fosforilisäysmäärän kasvaessa. Pienimmät NTL ja väkilannoitefosforilisäykset tuottivat suurimmat sadonlisät lisättyä kokonaisfosforikiloa kohden (Kuva 13). Vaikealiukoisista fosforilähteistä PKL kasvatti ry-satoja hieman enemmän kuin KKL ja LLJ vähiten. Pälkäneen osakokeessa C nurmi kasvatti fosforikiloa kohden lasketut ry-sadot suuremmiksi kuin osakokeen A ja B sadot (Kuva 11), joissa viljelykierto sisälsi ohraa ja kauraa.

Nurmella vuosien 2006–07 keskimääräinen maksimisato (9770 ry ha<sup>-1</sup>) saavutettiin vuotuisella superfosfaattilisäyksellä (Kuva 14). Suurempien KKL- ja PKL -kerta-annosten (keväällä 2004 100 kg P ha<sup>-1</sup>) rehuyksikkösadot saavutettiin antamalla vuosittain 13 kg ha<sup>-1</sup> väkilannoitefosforia satovastekäyrästä laskettuna (Kuva 14). Suurempien LLJ- ja SF -käsittelyiden (keväällä 2004 100 kg P ha<sup>-1</sup>) sadot saavutettiin 15 ja 17 kg ha<sup>-1</sup> suuruisilla nurmen pintaan annetuilla väkilannoitefosforilisäyksillä. Edellä mainituilla fosforilisäyksillä saavutetut nurmisadot vastasivat satovastekäyrästä laskettuna 94–96 % maksimisadosta (Kuva 14). SF 100 -käsittelyssä pintamaan fosforiluku oli syksyllä 2007 viljavuusluokassa huono, jolloin nykyisillä ympäristötukiehtojen mukaisilla fosfo-



Kuva 13. Pälkäneen ja Jokioisten kenttäkokeiden vuotuiset sadonlisät lisättyä fosforikiloa kohden.



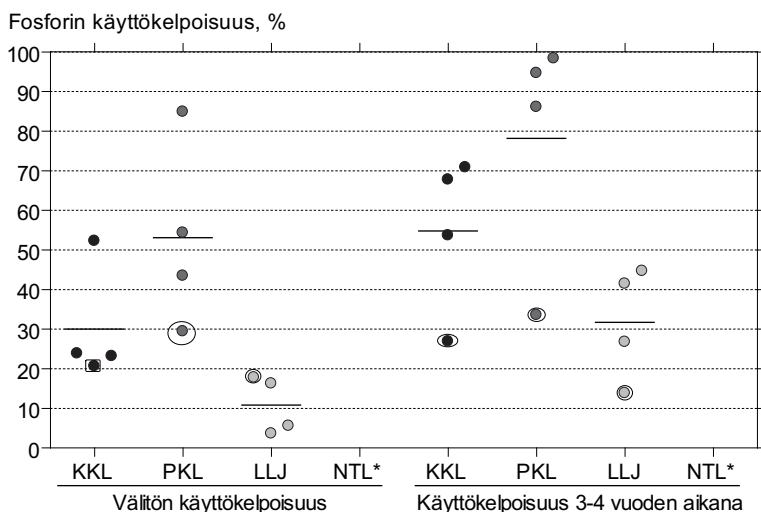
Kuva 14. Pälkäneen kenttäkokeen vuotuiset nurmisadot superfosfaatilla lannoitetuissa koeruuduissa vuosina 2006-07.

rilannoitussuosituksilla voidaan nurmea lannoittaa vuosittain 50 kg P ha<sup>-1</sup>. Kyseisellä fosforilannoituksella saavutettaisiin satovastekäyrän mukaan 99,8 % maksimisadosta. Koemaan alhaisen fosforiluvun vuoksi tässä saadut fosforilannoituksen satovasteet ovat maksimaaliset, sillä maan fosforiluvun kasvaessa fosforilannoituksen teho pienenee (Sippola ja Marjanen 1978, Valkama ym. 2009). Maaningalla ja Ruukissa suoritetuissa nurmikokeissa ei vuosittaisella fosforilannoituksella saavutettu tilastollisesti merkitsevää sadonlisää fosforilannoittamattomaan käsittelyyn verrattuna yhtenäkkään kolmesta nurmivuodesta (Saarijärvi ym. 2004, Virkajärvi ym. 2006, Pakarinen ym. 2007). Maan fosforiluvut olivat luokkaa 20 (viljavuusluokka hyvä) ja 15 mg l<sup>-1</sup> (viljavuusluokka tyydyttävä/hyvä).

Ilman fosforilannoitusta (P0N100) nurmisadot olivat 76 % maksimisadosta. Jo pieni fosforilisä (NTL 15) kenttäkokeen perustamisen yhteydessä vuonna 2004 kasvatti vuosien 2006–07 nurmisadon 86 %:iin maksimisadosta.

### 3.4.5 Fosforin käyttökelpoisuus

Orgaanisten lannoitteiden sisältämän fosforin käyttökelpoisuus arvioitiin suhteessa väkilannoitefosforiin (SF) vastaavalla tavalla kuin astiakokeessa sekä ensimmäiselle koevuodelle (välitön käyttökelpoisuus) että kenttäkokeiden ajalle (Kuva 15).



Kuva 15. Fosforin välitön käyttökelpoisuus suhteessa väkilannoitefosforiin ensimmäisenä koevuotena ja 3-4 vuoden aikana (\*NTL:n käyttökelpoisuus yli 100 %). Ympyröidyt käyttökelpoisuudet Jokioisten kenttäkokeesta.

Fosforin välitön käyttökelpoisuus PKL:lle oli keskimäärin 53 % (Pälkäneen osakokeet A, B ja C 54, 43 ja 85 %, Jokioisten koe 29 %) ja KKL:lle 30 % (Pälkäneen osakokeet A, B ja C 23, 24 ja 52 %, Jokioisten koe 21 %). Lihaluujuhofosforin välitön käyttökelpoisuus oli 11 % (Pälkäneen osakoe A, B ja C 4, 6 ja 16 %, Jokioisten koe 18 %). Pälkäneellä naudan turvelannan fosfori oli väkilannoitefosforin veroista. Naudan turvelantafosforin suuremmat käyttökelpoisuustasot johtuivat osittain pienemmistä fosforilisäysmääristä. Suurin käytetty NTL-lisäys oli kuitenkin lähellä sallittua maksimimäärää, sillä nitraattidirektiivi sallii levittää naudanlannassa kokonaistyyppä vuositasolla enimmillään 170 kg ha<sup>-1</sup>. Jokioisten kenttäkokeessa NTL-fosforin käyttökelpoisuutta ei voitu arvioida, sillä typen puute rajoitti ohran kasvua.

Pidemmällä aikavälillä (3–4 vuotta) KKL-, PKL- ja LLJ -fosforin käyttökelpoisuudet olivat 55, 78 ja 32 % samaan aikaan lisättyyn superfosfaattiin suhteutettuna (Kuva 15). Pelkästään Pälkäneen kenttäkokeen perusteella KKL-, PKL-, ja LLJ -fosforin käyttökelpoisuudet olivat 64, 93 ja 38 % (Kuva 15). Naudan turvelantafosfori oli väkilannoitefosforin veroista myös pidemmällä ajanjaksolla. Pienemmät fosforin käyttökelpoisuudet Jokioisten kokeessa suhteessa Pälkäneen kokeeseen saattavat olla seurausta korkeammasta maan pH:sta (6,5 vs. 6,0 kokeitten päättyessä, Liitteet 52–55), mikä hidasti ketunlannan ja lihaluujuhon sisältämän kalsiumfosfaatin liukenemistä. Pälkäneen nurmivuosina (3–4 vuotta fosforilannoitteen lisäämisestä) KKL- ja PKL -fosforin käyttökelpoisuudet olivat 89 ja 85 %. Pienemmällä LLJ -lisäyksellä (40 kg ha<sup>-1</sup>) fosforin

käyttökelpoisuus oli 47 %, mutta suuremmalla fosforilisäyksellä (100 kg ha<sup>-1</sup>) käyttökelpoisuus oli 100 %.

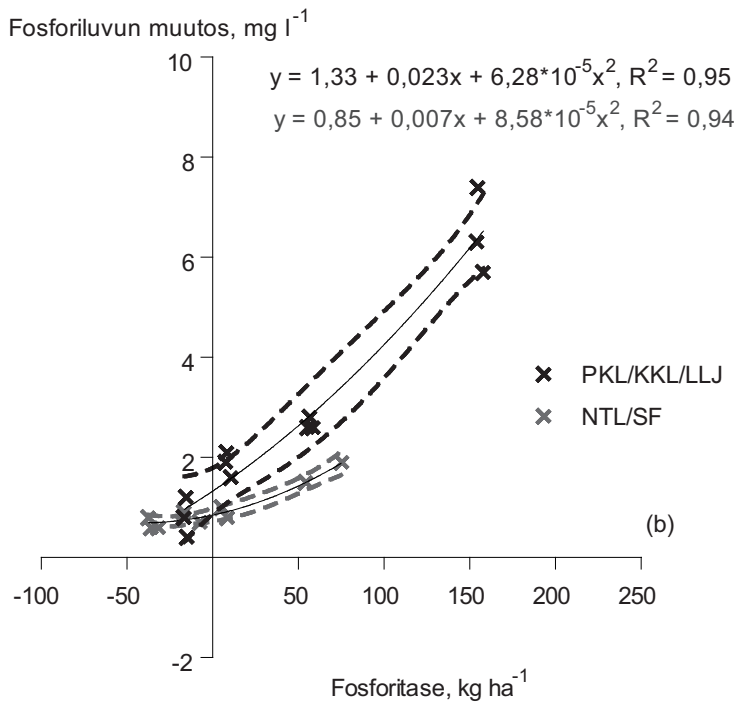
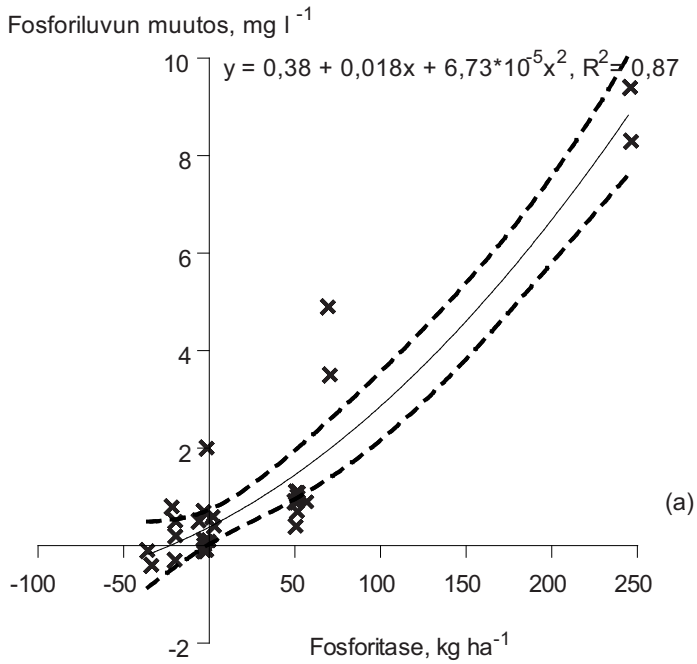
### 3.4.6 Fosforitaseen vaikutus maan fosforilukuun

Tässä tutkimuksessa fosforitase laskettiin lannoitteena lisätyn ja sadon mukana poistuneen fosforimäärän erotuksena. Vain pienimmillä fosforilannoitustasoilla fosforitaseet olivat negatiivisia (Kuvat 16 ja 17). Koska maiden fosforiluvut olivat jo kokeiden alkuhetkellä erittäin alhaiset, negatiivisilla fosforitaseilla ei ollut suurta vaikutusta fosforilukuihin 3–4 vuoden aikana.

Fosforilannoitus kasvatti maan fosforilukua lähinnä 0–10 cm:n syvyydessä (Liitteet 52–55). Kun fosforilannoitus annettiin kokeen perustamisen yhteydessä, pintamaan (0–10 cm) fosforilukua kasvattivat eniten suurimmat KKL-, PKL- ja LLJ -lisäykset. Tulos on samansuuntainen astiakokeen tulosten kanssa, jossa nämä fosforilähteet kasvattivat maan fosforilukua enemmän kuin SF ja NTL. Pälkäneellä pidempi kokeen kesto ja alhaisempi pH (6,0 vs. 6,5) aiheuttivat sen, että kalsiumfosfaattien (KKL, PKL ja LLJ) liukeneminen oli edennyt pidemmälle. Jokioisilla vaikealiukoisemmat fosforiyhdisteet näyttivät kohottaneen viljavuusfosforilukua enemmän kuin SF ja NTL (Kuva 16b). Pälkäneellä vastaavaa ei havaittu ja samoilla fosforilisäystasoilla fosforiluvut olivat kokeen päätyttyä lähes samalla tasolla riippumatta fosforilannoitteesta (Liitteet 52–54). Myös inkubointi- ja astiakokeessa happoliukoinen fosforipitoisuus aleni RKL-, KKL-, PKL- ja LLJ -käsittelyissä happamassa maassa ajan myötä.

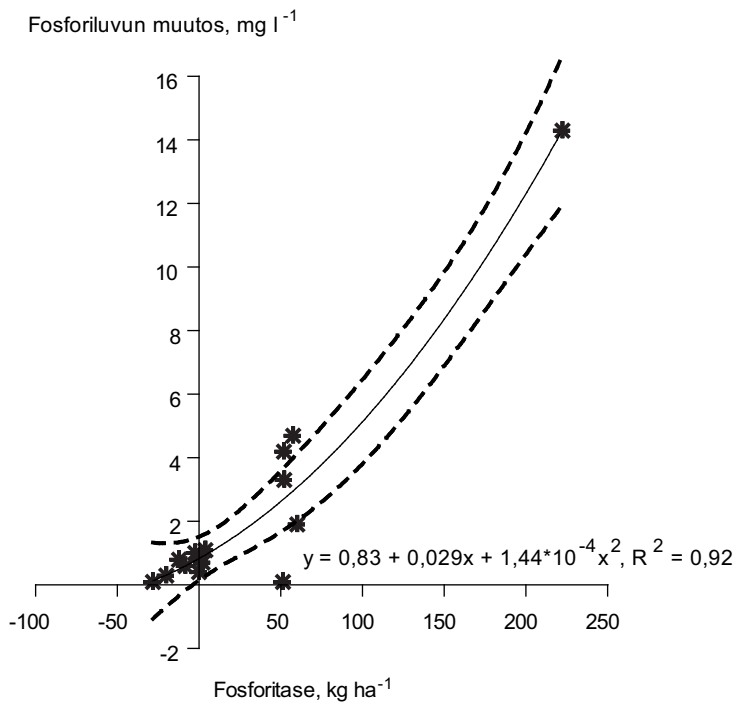
Nurmikokeessa vuotuinen fosforin pintalannoitus kasvatti eniten pintamaan (0–2,5 cm) fosforilukuja syksyyn 2007 mennessä. (Liite 54). Suurimmalla fosforilisäyksellä (75 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>) ero oli tilastollisesti merkitsevä muihin käsittelyihin verrattuna ( $p < 0,0001$ ). Pintamaan raju fosforiluvun kasvu viittaa fosforinpidätyspaikkojen täyttymiseen, mikä kasvattaa fosforin huuhtoutumispotentiaalia. Vuosittaisen fosforilannoituksen vaikutus syvempien maakerrosten fosforilukuun oli vähäinen (Liite 52). Pintamaahan verrattuna fosforiluku oli vain viidesosa 2,5–10 cm syvyydellä otetuissa maanäytteissä ja 10–25 cm syvyydellä se oli vain hieman kontrollia suurempi.

Yhtäsuurella fosforitaseella pintamaan fosforiluku kasvoi osakokeessa C enemmän (Kuva 16) kuin niissä kokeissa, missä fosforilannoitusta ei annettu pintalannoituksena (Kuva 15). Savimaalla suoritetuissa sadesimuloinneissa yhden yksikön kasvu maan fosforiluvussa on lisännyt valumaveden liukoista fosforipitoisuutta noin 0,01 mg l<sup>-1</sup> (Uusitalo ja Aura 2005). Kun fosforilannoitus oli annettu multaamalla kokeen perustamisen yhteydessä 2004, fosforiluvut olivat pintamaassa (0–2,5 cm) myös hieman suurempia kuin 2,5–10 cm:n syvyydellä (Liite 54). Syynä saattaa olla nurmikasvustosta vapautunut fosfori talven jäätymis-sulamissykliä aikana (Bechmann ym. 2005, Uusi-Kämpä 2007). Mo-



Kuva 16. Fosforitaseen vaikutus pintamaan fosforilukuun (0-10 cm) Pälkäneen osakokeissa A ja B (a) ja Jokioisilla (b). Katkoviiva kuvaa 95 % luottamusväliä.





Kuva 17. Fosforitaseen vaikutus pintamaan (0-2,5 cm) fosforilukuun Pälkäneen osakokeessa C. Katkoviiva kuvaa 95 % luottamusväliä.

lempina vuosina (2005/06) nurmi ehti kasvamaan toisen niiton jälkeen ennenkuin sää kylmeneminen lopetti kasvun.

Osakokeessa A vuosina 2004 ja 2005 kylvön yhteydessä lisätty suurin superfosfaattimäärä (SFV 75) kasvatti maan fosforiluvun arvosta 0,9 mg l<sup>-1</sup> arvoon 3,6 mg l<sup>-1</sup>, ja vuosien 2006 ja 2007 fosforilannoitus kasvatti sen edelleen arvoon 9,2 mg l<sup>-1</sup> (Liite 52). Samansuuruinen fosforilisä vuosina 2006–07 kasvatti maan fosforilukua siten huomattavasti enemmän kuin vuosina 2004–05 eli suurempi osa lisätystä fosforista jäi helppoliukoisempaan muotoon.

Fosforilannoituksella ei ollut suurta vaikutusta 10–25 cm:n syvyydeltä otettujen maanäytteiden fosforilukuun (Liitteet 52–55). Maan fosforiluku nousi korkeimmillaan arvoon 2,7 mg l<sup>-1</sup> suurimmalla vuotuisella väkilannoitefosforilisällä (75 kg ha<sup>-1</sup>) Pälkäneellä syksyyn 2007 mennessä. Fosfori sitoutui voimakkaasti maahan ja liikkui heikosti maaprofilissa alaspäin. Syvemmältä (25–40 cm) otettujen maanäytteiden fosforiluvut olivat samalla tasolla kuin ennen kentäkokeiden aloitusta (Liitteet 52–55).

### 3.4.7 Muutokset maan viljavuudessa (K, Ca, Mg ja pH)

Pälkäneellä vuotuinen kaliumlannoitus kasvatti maan kaliumlukua viljavuusluokkaan huononlainen/välttävä (0–10 cm, Liite 52–54). Jokioisilla kaliumin viljavuusluokka oli pysynyt ennallaan (tydyttävä). Pälkäneen nurmikokeessa pintamaan kaliumluku kasvoi P0N0-käsittelyssä muita käsittelyjä huomattavasti korkeammalle tasolle heikompien satojen seurauksena. Koemaiden kalkitus magnesiumpitoisella dolomiittikalkilla nosti Pälkäneellä maan magnesiumluvat viljavuusluokkaan hyvä ja Jokioisilla kalsiumkarbonaatti nosti kalsiumluvat viljavuusluokkaan tyydyttävä/hyvä. Koemaiden pH:t olivat kokeiden päättyessä Pälkäneellä 6,0 ja Jokioisilla 6,5 (Liitteet 52–55).

## 4 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa määritettiin lihaluujauhon ja turkiseläinlannan sisältämän fosforin liukoisuus ja käyttökelpoisuus kasveille yhden kasvukauden ja muutamman vuoden kuluessa. Verrattuna superfosfaattiin lihaluujauhofosforin välitön käyttökelpoisuus oli aluksi pieni mutta parani ajan kuluessa fosforin liuetessa happamassa maassa. Ketunlantafosforin käyttökelpoisuudet olivat lihaluujauhoa korkeampia. Ketunlannan kompostointi ja pelletointi alensivat fosforin välitöntä käyttökelpoisuutta mutta kasvattivat liukenevuutta kuitenkin pidemmällä ajanjaksolla (3–4 vuotta). Monivuotinen nurmi hyödynsi viljoja tehokkaammin lihaluujauhon ja ketunlannan sisältämää fosforia. Tulokset osoittivat, että runsaasti luuperäistä fosforia sisältäviä kotieläintalouden sivutuotteita tulisi hyödyntää ensisijaisesti niukasti helppoliukoista fosforia sisältävillä mailla. Levitysmäärissä voidaan tällöin ottaa huomioon fosforin pienempi välitön käyttökelpoisuus ja kerralla voidaan levittää myös useiden vuosien fosforilannoitustarve. Sen sijaan tyydyttävän ja sitä korkeamman fosforiluokan mailla myös luuperäisen fosforin käytön tulisi pohjautua sen kokonaisfosforipitoisuuteen.

Viime vuosina fosforilannoitussuosituksia on alennettu vastaamaan tarkemmin kasvien fosforin tarvetta. Tavoitteena on myös ollut vähentää vesistöihin huuhtoutuvan fosforin määrää. Kotieläintuotannossa tuotannon keskittyminen on kuitenkin johtanut siihen, että lantaperäisen fosforin määrä on monilla alueilla suurempi kuin alueen pelloille voidaan levittää esimerkiksi ympäristötukiehtojen mukaan. Tällainen alue on syntynyt turkiseläintuotannon ja karjatalouden keskittyessä Pohjanmaalle. Samaan aikaan on toisaalta epäilty fosforinpuutoksen aiheuttavan sadonalennuksia esimerkiksi luomuviljelyssä. Tällöin osa peltoalasta voisi hyötyä kotieläintalouden ylijäämäfosforin vastaanotosta ja lannoitteeksi voisi sopia myös teurassivutuotteista valmistettu, paljon fosforia ja tyypeä sisältävä lihaluujauho. Vuodessa lannoitteeksi kelpaavaa lihaluujauhoa muodostuu 21 milj.kg (sisältäen noin miljoona kg fosforia), mutta tästä määrästä noin 7–8 milj. kg käytetään turkiseläinten rehuksi. Turkiseläinlannan

fosforimäärä on puolestaan noin 2 milj. kg. Näiden tuotteiden sisältämän fosforin käyttökelpoisuudesta viljelykasveille on vain vähän tutkimustietoa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten em. fosforilähteitä voidaan käyttää tehokkaasti kasvintuotannossa, ja kuinka paljon niiden avulla on mahdollista vähentää väkilannoitefosforin tarvetta ja sulkea siten maatalouden ravinnekiertoja.

Inkubointikokeella selvitettiin fosforin käyttäytymistä maassa, kun maahan lisättiin liukoisuudeltaan toisistaan eroavia fosforilähteitä: ketunlantaa, lihaluujauhoa, naudan turvelantaa tai väkilannoitefosforia. Astia- ja kenttäkokein selvitettiin samojen tuotteiden sisältämän fosforin biologista käyttökelpoisuutta kasveille. Fosforilannoitusvasteiden varmistamiseksi kokeet tehtiin niukasti helppoliukoista fosforia sisältävillä mailla: viljavuusfosforiluvut olivat kenttäkokeiden ja astiakokeen lähtötilanteessa 1,0 ja 3,2 mg l<sup>-1</sup>, vastaten viljavuusluokkia huono ja huononlainen. Viljavuuspalvelun vuosina 2001–2005 analysoimista maanäytteistä (582 393 kpl) viljavuusluokkaan huono kuului 0,77 % ja luokkaan huononlainen 9,67 % maanäytteistä.

Suurin osa ketunlanta- ja lihaluujauhofosforista (65–90 %) oli vain happoon liukenevassa muodossa, kun taas naudanlannassa suurin osa fosforista (81 %) oli vesiliukoista. Astiakokeen raiheinäsatojen perusteella fosforin välitön käyttökelpoisuus ketunlannassa oli 35–54 %, riippuen lannan prosessointiasteesta, kun taas lihaluujauhofosforin välitön käyttökelpoisuus oli 19 %. Ketunlanta- ja lihaluujauhofosforin käyttökelpoisuus raiheinälle parani kuitenkin kasvukauden ja vuosien kuluessa. Kolmivuotisen kokeen aikana astiakokeesta korjattiin 10 raiheinäsatoa, joiden perusteella arvioiden ketunlantafosforin käyttökelpoisuus oli 69–87 % ja lihaluujauhofosforin 63 %.

Kenttäkokeiden ohrasatojen perusteella kompostoidun ketunlantafosforin välitön käyttökelpoisuus oli lisäysvuonna multamaalla 33 % ja savimaalla 21 %. Vastaavan pelletöidyn tuotteen käyttökelpoisuus multa- ja savimaalla oli 61 ja 29 %. Seuraavina vuosina ketunlantafosforin jälkivaikutus oli väkilannoitefosforin veroista. Samoin lihaluujauhon kohdalla fosforin käyttökelpoisuus oli lisäysvuonna enimmillään 18 %, mutta lisäystä seuraavina vuosina sen jälkivaikutus oli samalla tasolla kuin väkilannoitefosforilla. Kenttäkokeiden ajalle (3–4 vuotta) lasketut fosforin käyttökelpoisuudet kompostoidulle ketunlantalle, pelletöidylle ketunlantakompostille ja lihaluujauholle olivat 55, 78 ja 32 %. Ketunlantafosforin käyttökelpoisuus nurmelle oli 87 % ja lihaluujauhofosforin jopa 100 % kolme-neljä vuotta maahan multaamisesta.

Kasvuolosuhteet vaikuttivat voimakkaasti fosforilannituksella saavutettuihin satovasteisiin. Sateisena kesänä 2004 fosforilannoituksella saatiin kompensoitua heikkoja olosuhteita. Kun liiallinen kosteus ei häirinnyt kasvua, fosforilannoituksen satovasteet olivat pienempiä. Fosforiluvultaan huonossa multa-

maassa saavutettiin neljän vuoden aikana 95 % maksimisadosta vuotuisella 15 kg ha<sup>-1</sup> suuruisella väkilannoitefosforiannoksella. Savimaalla tarvittiin ensimmäisenä koevuotena 95 % maksimisadon tuottamiseen väkilannoitefosforia 69 kg ha<sup>-1</sup>, mutta kolmivuotisen kokeen aikana vastaavan sadon tuottamiseen riitti kuitenkin ainoastaan keskimäärin 4 kg ha<sup>-1</sup> väkilannoitefosforia. Nykyisten ympäristötukiehtojen mukaan voidaan ohralle antaa viljavuusluokassa huono fosforia 35 kg ha<sup>-1</sup>.

Astia- ja kenttäkokeiden perusteella naudan turvelannan sisältämä fosfori oli täysin väkilannoitefosforin veroista raiheinän ja ohran sadontuottokyvyn kannalta. Nurmella puolestaan kaikki fosforilähteet toimivat erinomaisina varastolannoitteina. Kaksi vuotta lannoitteiden (100 kg P ha<sup>-1</sup>) maahan multaamisesta ketunlanta- ja lihaluujauhofosfori tuottivat edelleen 95 % siitä sadosta, joka saatiin levitettäessä vuosittain pintaan väkilannoitefosforia. Samalla vuosittainen väkilannoitefosforilisäys (75 kg ha<sup>-1</sup>) oli kohottanut pintamaan (0–2,5 cm) fosforiluvun lukemaan 15,4 mg l<sup>-1</sup>, kun se ketunlantaa ja lihaluujauhoa saaneissa maissa oli korkeintaan 5,8 mg l<sup>-1</sup>. Fosforilannoitteen varastolannoituksella voidaan välttää pintamaan korkea fosforipitoisuus ja vähentää fosforihuuhtoumaa.

Ketunlanta- ja lihaluujauhofosfori kasvattivat maan viljavuusuuhtoista fosforipitoisuutta suhteellisesti enemmän kuin väkilannoite- tai naudanlantafosfori. Syynä oli luuperäisen fosforin uuttuminen happamaan uuuttoliuokseen suhteellisesti enemmän kuin juuristo pystyi ottamaan sitä kasvien käyttöön. Ajan kuluessa luupohjainen fosfori kuitenkin liukeni maan happamuuden vaikutuksesta kasveille paremmin käyttökelpoiseen muotoon. Kalkitus (pH:n nostaminen tasolle 6,5–7) puolestaan hidasti kalsiumpohjaisen fosforin liukenemistä maassa.

Jos kaikki nykyisin syntyvä turkiseläinlanta kompostoitaisiin ja pelletöitäisiin, voitaisiin sillä viljavuusluokassa huono, maalajista riippuen, tyydyttää 8000 – 94000 peltohehtaarin välitön fosforitarve (välitön käyttökelpoisuus multamaalla 61 ja savimaalla 29 %). Vastaavasti lannoitteeksi soveltuvalla lihaluujauholta voitaisiin tyydyttää 3000 – 7000 peltohehtaarin välitön fosforitarve (välitön käyttökelpoisuus multamaalla 9 ja savimaalla 18 %). Muiden eläinten lantojen fosforisisältö oli vuonna 2005 15,0 milj. kg, josta naudanlannan fosforisisältö oli 9,2 milj. kg. Ottaen lähtökohdaksi, että muiden kuin turkiseläinlantojen sisältämä fosfori on väkilannoitefosforin veroista, fosforisisältö yhdessä turkiseläinlanta- ja lihaluujauhofosforin kanssa vastaisi 15,8 milj kg fosforia (ketunlanta- ja lihaluujauhofosforin osalta savimaan välitön käyttökelpoisuus). Lannoitusvuonna 2005–06 maataloilille myytiin 17,2 milj kg väkilannoitefosforia (Maatilatilastollinen vuosikirja 2006).

Vuosina 2001–2005 viljavuuspalvelun analysoimista maanäytteistä 44 % kuului viljavuusluokkaan huono, huononlainen tai välttävä. Jos Suomen peltojen pinta-alasta kyseisiin fosforiluokkiin oletetaan jakautuvan vastaava osuus, niin vuonna 2005 näihin fosforiluokkiin kuului noin 993 000 ha (vuonna 2005 viljelty peltopinta-ala 2,25 milj. ha, Maatilarekisteri). Kun fosforilannoituksella ei saada satovastetta fosforiluvultaan tyydyttävällä ja sitä korkeammilla peltolohkoilla, riittää kotieläintuotannossa sivutuotteina muodostuvaa fosforia lannoitusta tarvitsevalle peltopinta-alalle 15,9 kg ha<sup>-1</sup>, mikä tässä tutkimuksessa riitti tuottamaan viljavuusluokassa huono yli 95 % maksimisadosta.

Lannan käsittelytekniikoiden kehittyessä kuljetuskustannukset alenevat fosforikiloa kohden. Kun samalla tarkennetaan kasvien fosforilannoitusta, Suomessa on mahdollista vähentää väkilannoitefosforin käyttöä murto-osaan nykyisestä useiden vuosien ajaksi.

## 5 Kirjallisuus

- Aura, E. 1978. Phosphate desorption from soil in anion-exchange resin extraction. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 50: 335–345.
- Bechmann, M.E., Kleinman, P.J.A., Sharpley, A.N. ja Saporito, L.S. 2005. Freeze–thaw effects on phosphorus loss in runoff from manured and catch-cropped soils. *Journal of Environmental Quality* 34: 2301–2309.
- Breeze, V.G., Robson, A.D. ja Hopper, M.J. 1985. The uptake of phosphate by plants from flowing nutrient solution III. Effect of changed phosphate concentrations on the growth and distribution of phosphate within plants of *Lolium perenne* L. *Journal of Experimental Botany* 36: 725–733.
- Brink, G.E., Pederson, G.A., Sistani, K.R. ja Fairbrother, T.E. 2001. Uptake of selected nutrients by temperate grasses and legumes. *Agronomy Journal* 93: 887–890.
- Chen, C.R., Condrón, L.M., Davis, M.R. ja Sherlock, R.R. 2002. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don.). *Soil Biology and Biochemistry* 34: 487–499.
- Condrón, L.M., Tiessen, H., Trasar-Cepeda, C., Moir, J.O. ja Stewart, J.W.B. 1993. Effects of liming on organic matter decomposition and phosphorus extractability in an acid humic Ranker soil from northwest Spain. *Biology and Fertility of Soils* 15: 279–284.

- Curtin, D. ja Smillie, G.W. 1995. Effect of incubation and pH on soil solution and exchangeable cation ratios. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1006–1011.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agraria Fennica* 122: 1–122.
- Föhse, D., Claassen, N. ja Jungk, A. 1988. Phosphorus efficiency of plants I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. *Plant and Soil* 110: 101–109.
- Grant, C.A., Flaten, D.N., Tomasiewicz, D.J. ja Sheppard, S.C. 2001. The importance of early season phosphorus nutrition. *Canadian Journal of Plant Science* 81: 211–224.
- Guo, F., Yost, R.S., Hue, N.V., Evensen, C.I. ja Silva, J.A. 2000. Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1681–1689.
- Güsewell, S. 2004. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist* 164: 243–266.
- Hartikainen, H. 1989a. Effect of cumulative fertilizer dressings on the phosphorus status of mineral soils. I Changes in inorganic phosphorus fractions. *Journal of Agricultural Science in Finland* 61: 55–59.
- Hartikainen, H. 1989b. Evaluation of water and ammonium acetate tests as indices for available P in limed soils. *Journal of Agricultural Science in Finland* 61: 1–6.
- Hay, R ja Porter, J. 2006. *The Physiology of Crop Yield*. Second edition. Blackwell Publishing Ltd. 314 s.
- Haynes, R.J. 1982. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant and Soil* 68: 289–308.
- Haynes, R.J. ja 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.L., Yang, X., Yuan, K.N. ja Zhu, Z.X. 1994. Desorption and plant-availability of phosphate sorbed by some important minerals. *Plant and Soil* 162: 89–97.
- Hedley, M.J., Stewart, J.W.B. ja Chauhan, B.S. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal* 46: 970–976.

- Helal, H.M. ja Sauerbeck, D.R. 1984. Influence of plant roots on C and P metabolism in soil. *Plant and Soil* 76: 175–182.
- Holford, I.C.R., Hird, C. ja Lawrie, R. 1997. Effects of animal effluents on the phosphorus sorption characteristics of soils. *Australian Journal of Soil Research* 35: 365–373.
- Jaakkola, A., Hakkola, H., Köylijärvi, J. ja Simojoki, P. 1977. Effect of liming on phosphorus fertilizer requirement in cereals and ley. *Annales Agriculturae Fenniae* 16: 207–219.
- Jeng, A., Haraldsen, T.K., Vagstad, N. ja Grønlund, A. 2004. Meat and bone meal as nitrogen fertilizer to cereals in Norway. *Agricultural and Food Science* 13: 268–275.
- Jones, D.L. 1998. Organic acids in the rhizosphere - a critical review. *Plant and Soil* 205: 25–44.
- Kaila, A. 1948. Viljelysmaan orgaanisesta fosforista. *Valtion Maatalouskoetöminnan Julkaisuja* 129: 7–118.
- Kaila, A. 1961. Fertilizer phosphorus in some Finnish soils. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 33: 131–139.
- Kempainen, E. 1989. Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. *Annales Agriculturae Fenniae* 28: 163–284. *Seria Agrogeologia et chimica N. 154 - Sarja Maa- ja lannoitus n:o 154.*
- Lakanen, E. ja Vuorinen, J. 1963. The effect of liming on the solubility of nutrients in various finnish soils. *Annales Agriculturae Fenniae* 2: 91–102.
- Lamothe, P.J., Fries, T.L. ja Consul, J.J. 1986. Evaluation of a microwave oven system for the dissolution of geologic samples. *Analytical Chemistry* 58: 1881–1886.
- Marschner, H., Römheld, V. ja Cakmak, I. 1987. Root-induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. *Journal of Plant Nutrition* 10: 1175–1184.
- Morel, Ch. ja Fardeau, J.C. 1990. Uptake of phosphate from soils and fertilizers as affected by soil P availability and solubility of phosphorus fertilizers. *Plant and Soil* 121: 217–224.
- MTT 2006. Rehutilukot ja ruokintasuositukset 2006 Märehtijät - siat - siipikarja - turkiseläimet - hevoset. 84 s. MTT:n selvityksiä 106.
- Murphy, P.N.C. 2007. Lime and cow slurry application temporarily increases organic phosphorus mobility in an acid soil. *European Journal of Soil Science* 58: 794–801.

- Nielsen, W.L., Krantz, B.A., Colwell, W.E., Woltz, W.G., Hawkins, A., Dean, L.A., MacKenzie, A.J. ja Rubins, E.J. 1947. Application of radioactive tracer technique to studies of phosphatic fertilizer utilization by crops: II. Field experiments. *Soil Science Society Proceedings* 12: 113–118.
- Pakarinen, K., Virkajärvi, P., Pietikäinen, L. ja Isoahti, M. 2007. Nurmen P- kертalannoitus. Issakainen, P. Lannoitus- ja kasvinsuojelukokeiden tuloksia 2006 Kuopion kaupungin painatuskeskus: MTT. 50 s.
- Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H. ja Rinne, K. 2004. Phosphorus status of diverse soils in Finland as influenced by long-term P fertilisation 2.Changes of soil test values in relation to P balance with references to incorporation depth of residual and freshly applied P. *Agricultural and Food Science* 13: 276–294.
- Saarela, I., Salo, Y. ja Vuorinen, M. 2006. Effects of repeated phosphorus fertilisation on field crops in Finland 1.Yield responses on clay and loam soils relation to soil test P values. *Agricultural and Food Science* 15: 106–123.
- Saarela, I. ja Sippola, J. 1990. Inorganic leaf phosphorus and soil tests as indicators of phosphorus nutrition in cereals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 21: 1927–1943.
- Saarijärvi, K., Virkajärvi, P. ja Isoahti, M. 2004. Nurmen P- kертalannoitus (KEM N1). Issakainen, P. Lannoitus- ja kasvinsuojelukokeiden tuloksia 2004 Kuopion kaupungin painatuskeskus: MTT / Alueellinen yksikkö. 46 s.
- Sharpley, A.N. ja Moyer, B. 2000. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality* 29: 1462–1469.
- Sippola, J. ja Marjanen, H. 1978. Viljavuusluokittaiset sadonlisäykset paikallisissa nousevien fosfori- ja kaliummäärien kokeissa. 3. Maatalouden tutkimuskeskus, maantutkimuslaitos. 16 s.
- Toal, M.E., Yeomans, C., Killham, K. ja Meharg, A.A. 2000. A review of rhizosphere carbon flow modelling. *Plant and Soil* 222: 263–281.
- Uusi-Kämpä, J. 2007. Effects of freezing and thawing on DRP losses from buffer zones. Teoksessa: Heckrath, G., Rubaek, G., and Kronvang, B. (toim.). Diffuse phosphorus loss. Risk assessment, mitigation options and ecological effects in river basins: Faculty of Agricultural Sciences. s. 169–172.
- Uusitalo, R. ja Aura, E. 2005. A rainfall simulation study on the relationships between soil test P versus dissolved and potentially bioavailable particulate phosphorus forms in runoff. *Agricultural and Food Science* 14: 335–345.



- Valkama, E., Uusitalo, R., Ylivainio, K., Virkajärvi, P. ja Turtola, E. 2009. Phosphorus fertilization: a meta-analysis of 80 years of research in Finland. Agriculture, Ecosystems ja Environment. Painossa, doi:10.1016/j.agee.2008.12.004.
- Virkajärvi, P., Saarijärvi, K. ja Isolahti, M. 2006. Nurmen P- kertalannoitus (KEM N1) 2005. Issakainen, P. Lannoitus- ja kasvinsuojelukokeiden tuloksia 2005 Kuopion kaupungin painatuskeskus: MTT / Alueellinen yksikkö. 50 s.
- Yli-Halla, M. 1989. Effect of different rates of P fertilization on the yield and P status of the soil in two long-term field experiments. Journal of Agricultural Science in Finland 61: 361–370.
- Yli-Halla, M. 1991. Phosphorus supplying capacities of soils previously fertilized with different rates of P. Journal of Agricultural Science in Finland 63: 75–83.
- Zoysa, A.K.N., Loganathan, P. ja Hedley, M.J. 1997. A technique for studying rhizosphere processes in tree crops: soil phosphorus depletion around camellia (*Camellia japonica* L.) roots. Plant and Soil 190: 253–265.
- Zoysa, A.K.N., Loganathan, P. ja Hedley, M.J. 1999. Phosphorus utilisation efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis* L.) clones. Nutrient Cycling in Agroecosystems 53: 189–201.
- Øgaard, A.F. 1996. Effect of fresh and composted cattle manure on phosphate retention in soil. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil and Plant Science 46: 98–105.

## 6 Liitteet

Liite 1. Pälkäneen ja Jokioisten kenttäkokeen vuosittaiset fosforilannoitusmäärät, kg ha<sup>-1</sup>.

Koepaikka ja käytetty fosforilannoite	Koevuodet			
	2004	2005	2006	2007
Pälkäne				
PON0	-	-	-	-
PON70	-	-	-	-
KKL, PKL, LLJ ja SF 20+20	20	-	-	-
KKL, PKL, LLJ ja SF 40	40	-	-	-
KKL, PKL, LLJ ja SF 50+50	50	-	-	-
KKL, PKL, LLJ ja SF 100	100	-	-	-
NTL 10+10	10	-	10	-
NTL 15	15	-	-	-
NTL 20+20	20	-	20	-
NTL 30	30	-	-	-
SFV 6	6	6	6 <sup>§</sup>	6
SFV 10	10	10	10	10
SFV 30	30	30	30	30
SFV 75	75	75	75	75
Jokioinen				
PON90	-	-	-	-
SF 6	-	6	-	-
KKL, PKL, LLJ ja SF 25	-	25	-	-
KKL, PKL, LLJ ja SF 50	-	50	-	-
KKL, PKL, LLJ ja SF 100	-	100	-	-
KKL, PKL, LLJ 200	-	200	-	-
NTL 10	-	10	-	-
NTL 25	-	25	-	-
NTL 35	-	35	-	-
NTL 50	-	50	-	-
SFV 43/35	-	43	35	43

<sup>§</sup> Osakokeissa A ja B ei fosforia vuonna 2006.

Liite 2. Pälkäneen ja Jokioisten kenttäkokeiden kylvö- ja korjuupäivät, kasvinsuojelu ja sademäärä kylvön ja sadonkorjuun välisenä aikana.

Koepaikka ja -vuosi	Kylvöpäivä	Sadonkorjuu	Kasvinsuojelu	Sademäärä, mm
Pälkäne 2004	18.5.	25.8.–13.9.	Hjan Trio 1 l ha <sup>-1</sup> + 2 tabl Ratio + 0,4 l ha <sup>-1</sup> Sito (22.6.)	365
Pälkäne 2005			ArianeS 1,7 l ha <sup>-1</sup> + Fastac 0,4 l ha <sup>-1</sup> (27.6.):	275
Osakokeet A ja B	26.5.	13.9.	Sadonkorjuun jälkeen koealue ruiskutettiin Roundupilla	
Osakoe C	26.5.	5.9.	-	
Pälkäne 2006			Express 2 tab ha <sup>-1</sup> + Karate 2,5 WG 250 g /250 l vettä ha <sup>-1</sup> (30.6.)	75
Osakoe A ja B	2.6.	14.9.		
Osakoe C		20.6. ja 30.8.	-	
Pälkäne 2007			1 tabl Express 50T + 0,75 l MCPA:ta / 150 l vettä ha <sup>-1</sup> (5.7.)	174
Osakoe A ja B	6.6.	13.9.		
Osakoe C		8.6. ja 8.8.	-	
Jokioinen 2005	13.5.	24.8.	ArianeS 2 l / 300 l vettä ha <sup>-1</sup> (21.6.)	259
Jokioinen 2006	17.5.	11.9.	-	150
Jokioinen 2007	21.5.	5.9.	Ally 239 Class 40 g ha <sup>-1</sup> / 200 l vettä	239

Liite 3. Pälkäneen tutkimusasemalla ja Jokioisten observatoriossa mitatut kesäkuukausien keskilämpötilat, °C, koevuosina, sekä keskiarvot vuosilta 1971–2000.

Koepaikka	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu
Pälkäne					
Vuosi 2004	9,8	12,6	16,1	16,0	11,6
Vuosi 2005	9,6	14,0	18,8	15,6	11,8
Vuosi 2006	10,5	15,8	§	§	§
Vuosi 2007 <sup>§</sup>					
1971 – 2000	9,7	14,6	16,6	14,8	9,6
Jokioinen					
Vuosi 2005	9,6	13,3	17,4	15,3	11,6
Vuosi 2006	10,1	15,2	18,1	17,9	13,2
Vuosi 2007	10,2	15,2	16,1	16,2	10,1
1971–2000	9,5	14,1	16,1	14,5	9,3

<sup>§</sup>ei saatavilla

Liite 4. Ilman lämpötila 1,65 cm:n korkeudelta ja koeruuduista 6 cm:n syvyydeltä mitattu lämpötila, °C, kylvön ja sadonkorjuun välisenä aikana Pälkäneen kenttäkokeessa vuonna 2006.

Käsittely	Ilman lämpöt.	Koeruudun numero						
		4	5	22	27	33	36	57
Keskiarvo koko ajalle	17,1	17,0	16,7	17,0	16,7	16,5	16,2	17,3
Kesäkuu	16,3	17,7	17,4	17,8	17,2	17,2	16,9	17,4
Heinäkuu	18,2	17,5	17,1	17,5	17,6	16,8	16,7	18,4
Elokuu	17,8	16,9	16,5	16,9	16,5	16,6	16,2	17,2
Syyskuu	14,5	14,9	14,6	14,7	14,2	14,5	13,8	14,8
Min	4,0	9,5	10,5	10,0	9,0	10,0	7,5	10,5
Max	30,0	26,0	24,5	25,5	25,0	24,5	25,5	24,0

Liite 5. Koeruutujen kosteus TDR:llä mitattuna Pälkäneen kenttäkokeessa kasvukaudella 2006, tilavuus-%.

Käsittely	Mittauspäivämäärä					
	9.6.	28.6.	20.7.	2.8.	30.8.	14.9
P0N0	41,6	37,5	27,7	43,8	43,9	43,8
P0N70	43,7	41,9	25,1	44,6	43,0	40,3
LLJ 20+20	45,3	40,6	24,3	44,5	44,9	44,8
LLJ 50+50	50,8	46,7	26,4	48,1	47,7	49,0
SFV 6	44,3	40,0	25,4	42,9	42,6	43,3
SFV 10	47,2	39,2	26,8	47,0	47,4	46,9
SFV 30	41,1	33,8	24,4	41,5	42,7	41,8
SFV 75	46,2	35,9	23,1	44,5	45,4	44,6

Liite 6. Pälkäneen koeruudut ja -käsittelyt osakokeissa A ja B. Koeruutujen arvioitu kosteus kesällä 2004 merkitty eri väreillä (selitys Liitteessä 7)

125, SFV 10	126, PKL 100	127, P0N0	128, KKL 40
121, SFV 75	122, P0N70	123, PKL 40	124, SF 100
117, LLJ 100	118, NTL 15	119, NTL 30	120, SFV 6
113, SF 40	114, LLJ 40	115, KKL 100	116, SFV 30
109, SFV 30	110, SFV 10	111, KKL 100	112, NTL 15
105, PKL 40	106, LLJ 40	107, PKL 100	108, SFV 6
101, LLJ 100	102, P0N0	103, SFV 75	104, SF 40
97, P0N70	98, SF 100	99, KKL 40	100, NTL 30
93, SF 100	94, PKL 100	95 SFV 30	96, NTL 15
89, KKL 100	90, SFV 6	91, SFV 75	92, KKL 40
85, P0N70	86, SFV 10	87, LLJ 40	88, LLJ 100
81, SF 40	82, PKL 40	83, NTL 30	84, P0N0
77, SFV 75	78, PKL 100	79, LLJ 40	80, NTL 30
73, PKL 40	74, SFV 30	75, LLJ 100	76, KKL 40
69, SF 100	70, SF 40	71, SFV 6	72, SFV 10
65, NTL 15	66, P0N0	67, KKL 100	68, P0N70
61, NTL 10	62, SF 20	63, SFV 30	64, NTL 20
57, P0N70	58, P0N0	59, PKL 50	60, PKL 20
53, KKL 50	54, SFV 6	55, KKL 20	56, SFV 75
49, LLJ 50	50, SF 50	51, LLJ 20	52, SF 10
45, KKL 50	46, SFV 10	47, LLJ 20	48, P0N0
41, KKL 20	42, P0N70	43, NTL 20	44, LLJ 50
37, SF 50	38, SF 20	39, SFV 6	40, PKL 20
33, SFV 75	34, PKL 50	35, NTL 10	36, SFV 30
29, SF 20	30, SFV 10	31, PKL 50	32, KKL 20
25, LLJ 50	26, NTL 10	27, SFV 6	28, P0N0
21, LLJ 20	22, SFV 30	23, KKL 50	24, P0N70
17, SFV 75	18, SF 50	19, PKL 20	20, NTL 20
13, SFV 10	14, PKL 20	15, NTL 10	16, KKL 50
9, SFV 6	10, LLJ 20	11, PKL 50	12, NTL 20
5, LLJ 50	6, P0N70	7, SFV 75	8, SF 20
1, KKL 20	2, SF 50	3, P0N0	4, SFV 30

3 m

12,5 m

50 m

4. kerranne

3. kerranne

48 m, osakoe B

2. kerranne

1. kerranne

4. kerranne

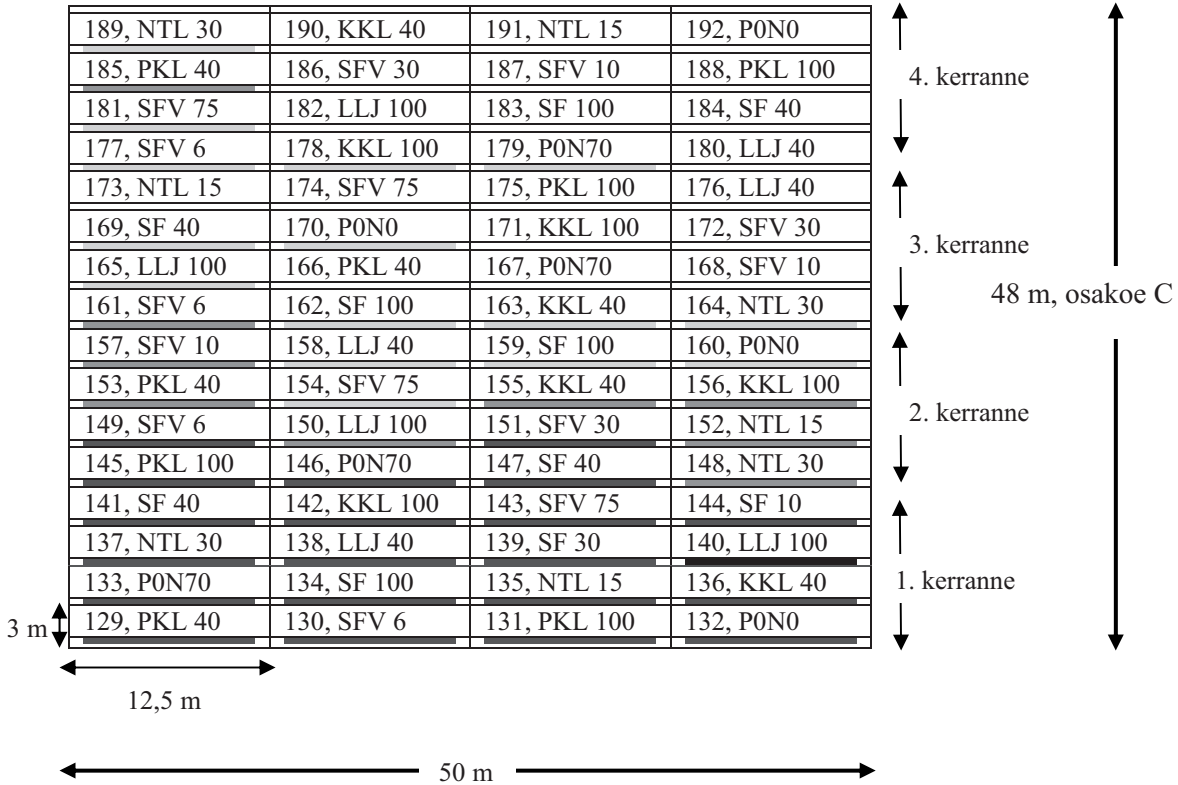
3. kerranne

48 m, osakoe A

2. kerranne

1. kerranne

Liite 7. Pälkäneen koeruudut ja käsittelyt osakokeessa C. Koeruutujen arvioitu kosteus kesällä 2004 (13.7.) merkitty eri väreillä.



Värien selitykset:

- Koeruudun välinen käytävä kuiva ja maahan ei kävellessä syntynyt painauma
- Maahan syntyi kävellessä painauma.
- Maahan syntyi kävellessä painauma ja siinä seiso i vesi.
- Koko käytävällä seiso i vesi.

Liite 8. Jokioisten koeruudut ja käsittelyt.

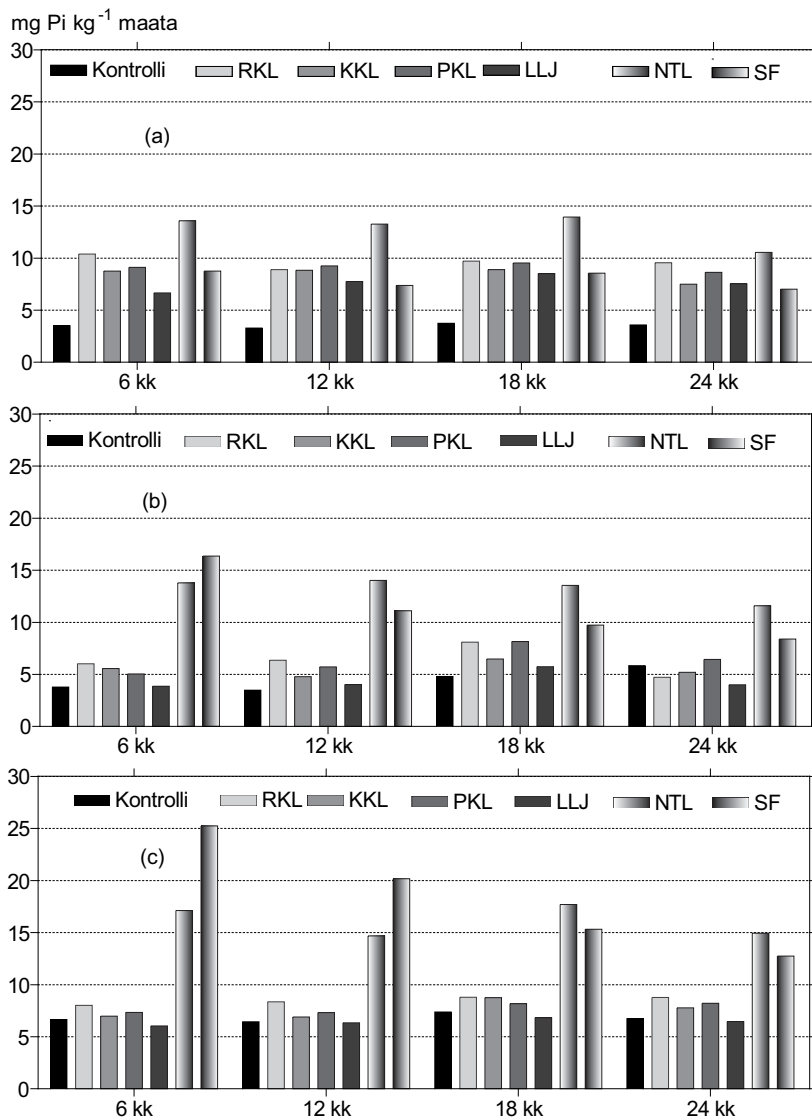
4. kerranne	78, PKL 25	79, NTL 25	80, SFV 35/43	81, PKL 50	82, SF 100	83, LLJ 25	84, KKL 50	85, P0	86, PKL 200	87, NTL 50	88, LLJ 50	100 m
	67, SF 6	68, PKL 100	69, PKL 200	70, NTL 10	71, KKL 100	72, NTL 35	73, SF 50	74, LLJ 100	75, LLJ 200	76, PKL 25	77, SF 25	
3. kerranne	56, LLJ 50	57, LLJ 100	58, NTL 35	59, SF 50	60, KKL 25	61, SFV 35/43	62, SF 6	63, KKL 100	64, PKL 100	65, NTL 10	66, PKL 200	12,5 m
	45, P0	46, SF 100	47, PKL 25	48, LLJ 25	49, NTL 50	50, KKL 50	51, PKL 50	52, LLJ 200	53, SF 25	54, KKL 200	55, NTL 25	
2. kerranne	34, NTL 25	35, LLJ 50	36, NTL 50	37, SF 6	38, LLJ 25	39, SF 50	40, KKL 100	41, PKL 50	42, KKL 200	43, P0	44, PKL 25	3 m
	23, LLJ 100	24, NTL 35	25, PKL 100	26, KKL 50	27, NTL 10	28, KKL 25	29, SF 25	30, LLJ 200	31, SF 100	32, PKL 200	33, SFV 35/43	
1. kerranne	12, LLJ 200	13, KKL 50	14, NTL 25	15, SF 100	16, SF 50	17, LLJ 25	18, NTL 35	19, KKL 200	20, SFV 35/43	21, PKL 100	22, PKL 200	33 m
	1, KKL 25	2, P0	3, PKL 25	4, LLJ 50	5, LLJ 100	6, SF 25	7, PKL 50	8, NTL 50	9, KKL 100	10, SF 6	11, NTL 10	



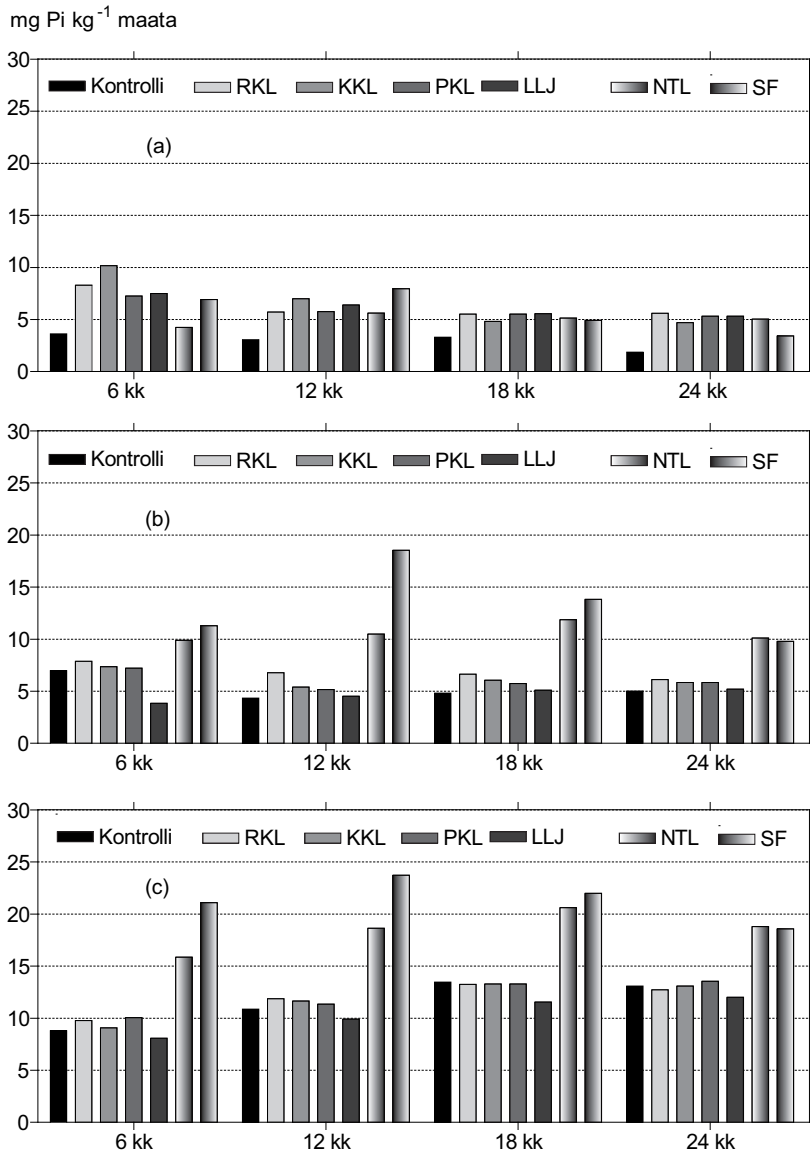
Liite 9. Inkubointikokeen maiden happamuus puolen vuoden välein otetuissa maanäytteissä.

Kalkitustaso	Hietamaa			Savimaa		
	0	1	2	0	1	2
pH alussa	5,9	7,5	8,5	5,7	7,5	8,8
Inkubointi 6 kk						
Kontrolli	5,3	6,9	7,9	5,2	7,1	7,8
RKL	5,3	6,8	7,8	5,2	7,1	7,8
KKL	5,3	6,8	7,9	5,1	7,1	7,8
PKL	5,3	6,7	7,8	5,1	7,1	7,8
LLJ	5,2	6,8	7,8	5,1	7,3	7,8
NTL	5,5	6,8	7,7	5,2	7,1	7,7
SF	5,2	6,8	7,8	5,0	7,2	7,9
Inkubointi 12 kk						
Kontrolli	5,3	6,8	8,2	5,2	7,2	8,1
RKL	5,4	6,8	8,1	5,1	7,2	8,1
KKL	5,3	7,0	8,2	5,1	7,3	8,1
PKL	5,2	6,8	8,0	5,2	7,2	8,0
LLJ	5,1	6,8	8,1	5,1	7,3	8,1
NTL	5,3	6,7	8,0	5,2	7,2	8,0
SF	5,2	6,8	8,2	5,1	7,3	8,1
Inkubointi 18 kk						
Kontrolli	5,2	6,5	7,6	5,0	6,8	7,6
RKL	5,2	6,5	7,7	5,0	6,8	7,6
KKL	5,2	6,5	7,6	5,0	6,7	7,7
PKL	5,1	6,8	7,7	5,0	6,8	7,6
LLJ	5,1	6,7	7,7	5,0	6,9	7,6
NTL	5,2	6,6	7,5	5,1	6,9	7,3
SF	5,2	6,6	7,5	5,0	6,9	7,6
Inkubointi 24 kk						
Kontrolli	5,2	6,7	7,9	5,0	7,0	7,8
RKL	5,2	6,7	7,9	5,0	7,1	7,8
KKL	5,2	6,7	7,8	5,1	7,0	7,8
PKL	5,2	6,7	7,8	5,0	6,9	7,6
LLJ	5,1	6,7	7,8	5,0	7,0	7,7
NTL	5,1	6,6	7,8	5,0	6,9	7,8
SF	5,1	6,7	7,9	4,9	7,0	7,9

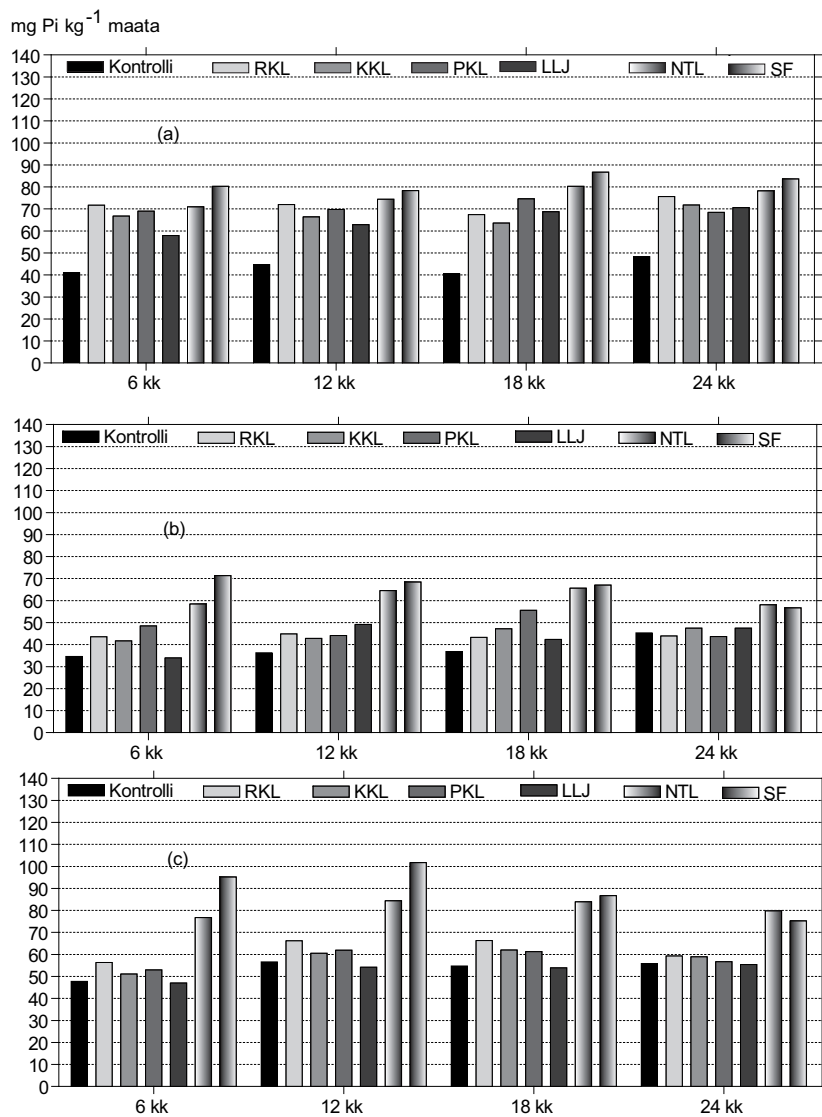
Liite 10. Hietamaan vesiututtainen fosforipitoisuus (Pi) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 5,1-5,3), 1 (b, maan pH 6,5-7,0) ja 2 (c, maan pH 7,5-8,2).



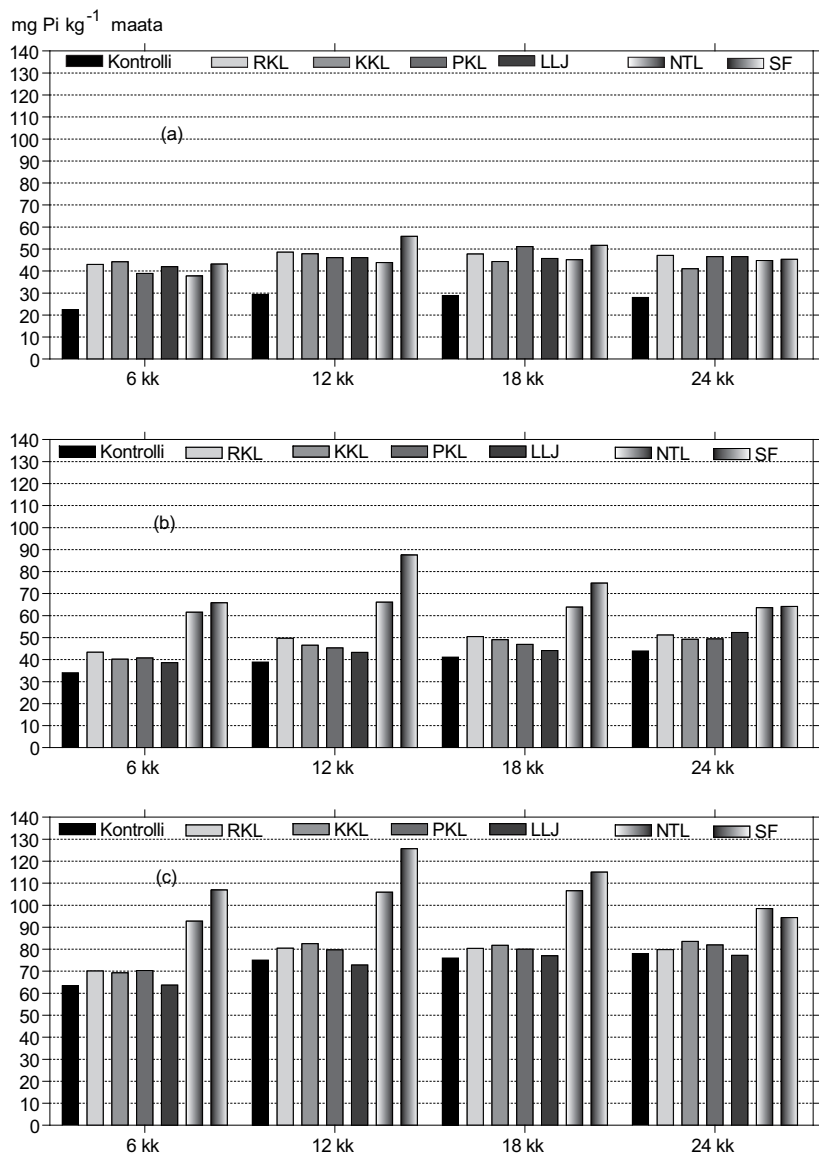
Liite 11. Savimaan vesiuttolinen fosforipitoisuus (Pi) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 4,9-5,2), 1 (b, maan pH 6,7-7,3) ja 2 (c, maan pH 7,6-8,1)



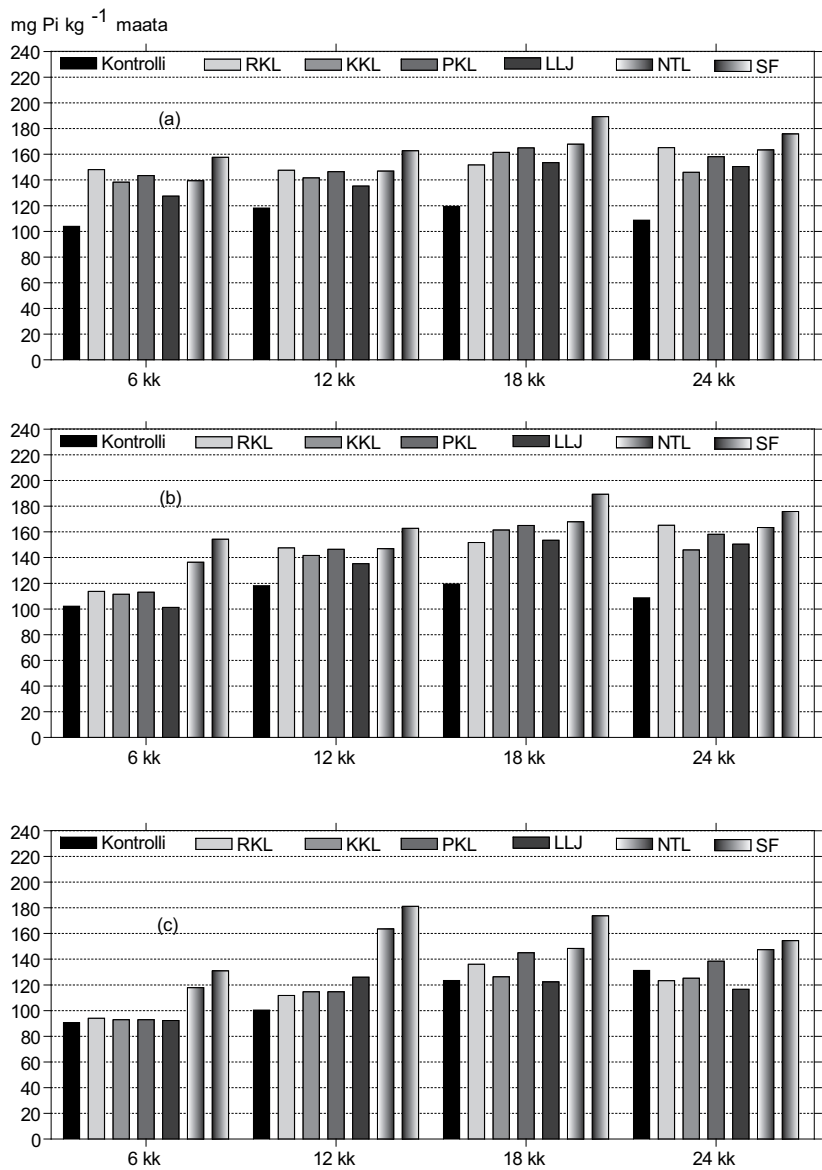
Liite 12. Hietamaan 0,5 M NaHCO<sub>3</sub> -uuttoinen fosforipitoisuus (Pi) kalkitus-  
tasolla 0 (a, maan pH 5,1-5,3), 1 (b, maan pH 6,5-7,0) ja 2 (c, maan pH 7,5-8,2).



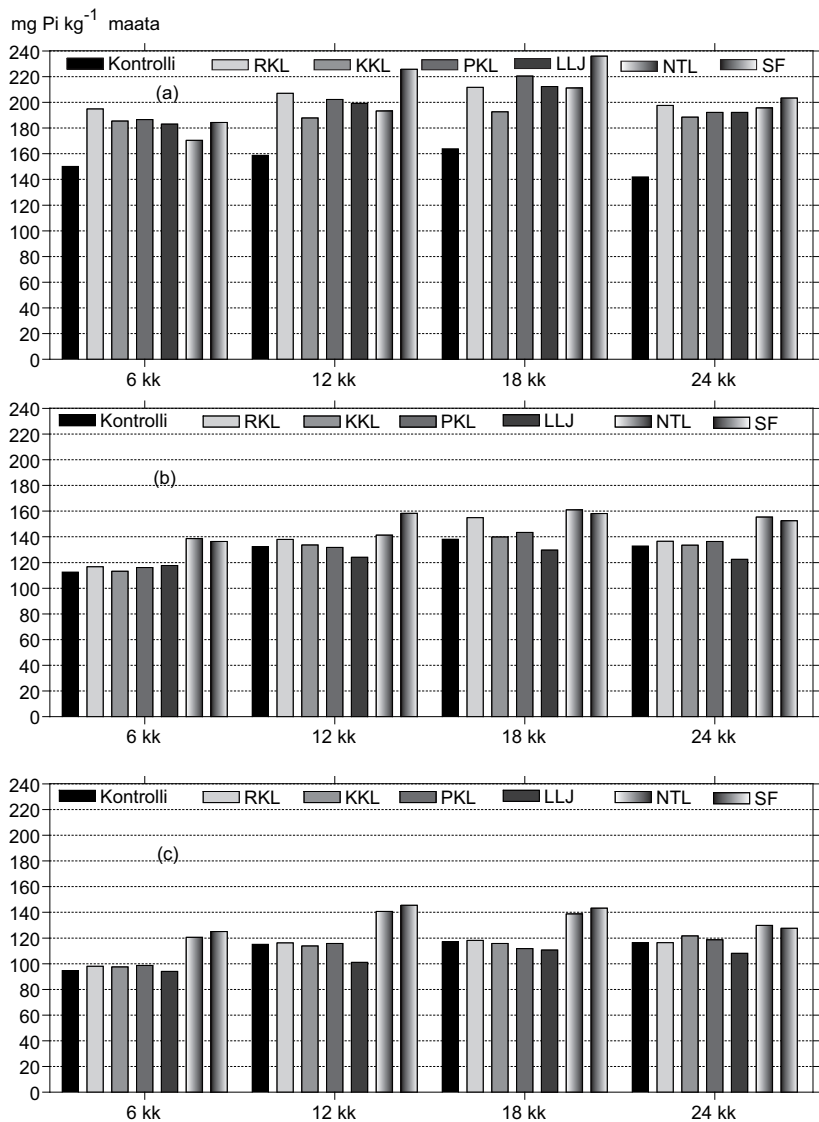
Liite 13. Savimaan 0,5 M NaHCO<sub>3</sub> -uuttainen fosforipitoisuus (Pi) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 4,9-5,2), 1 (b, maan pH 6,7-7,3) ja 2 (c, maan pH 7,6-8,1).



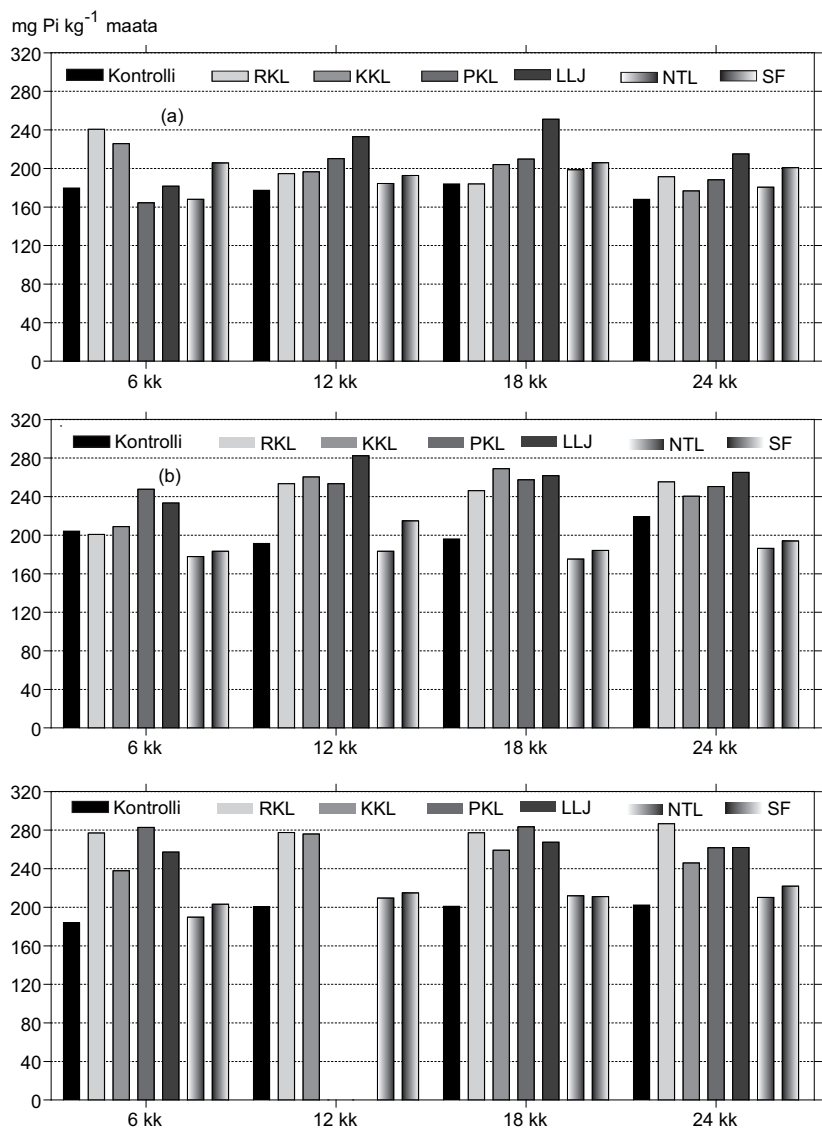
Liite 14. Hietamaan 0,1 M NaOH –uuttoinen fosforipitoisuus (Pi) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 5,1-5,3), 1 (b, maan pH 6,5-7,0) ja 2 (c, maan pH 7,5-8,2).



Liite 15. Savimaan 0,1 M NaOH –uttainen fosforipitoisuus (Pi) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 4,9-5,2), 1 (b, maan pH 6,7-7.3) ja 2 (c, maan pH 7,6-8,1).

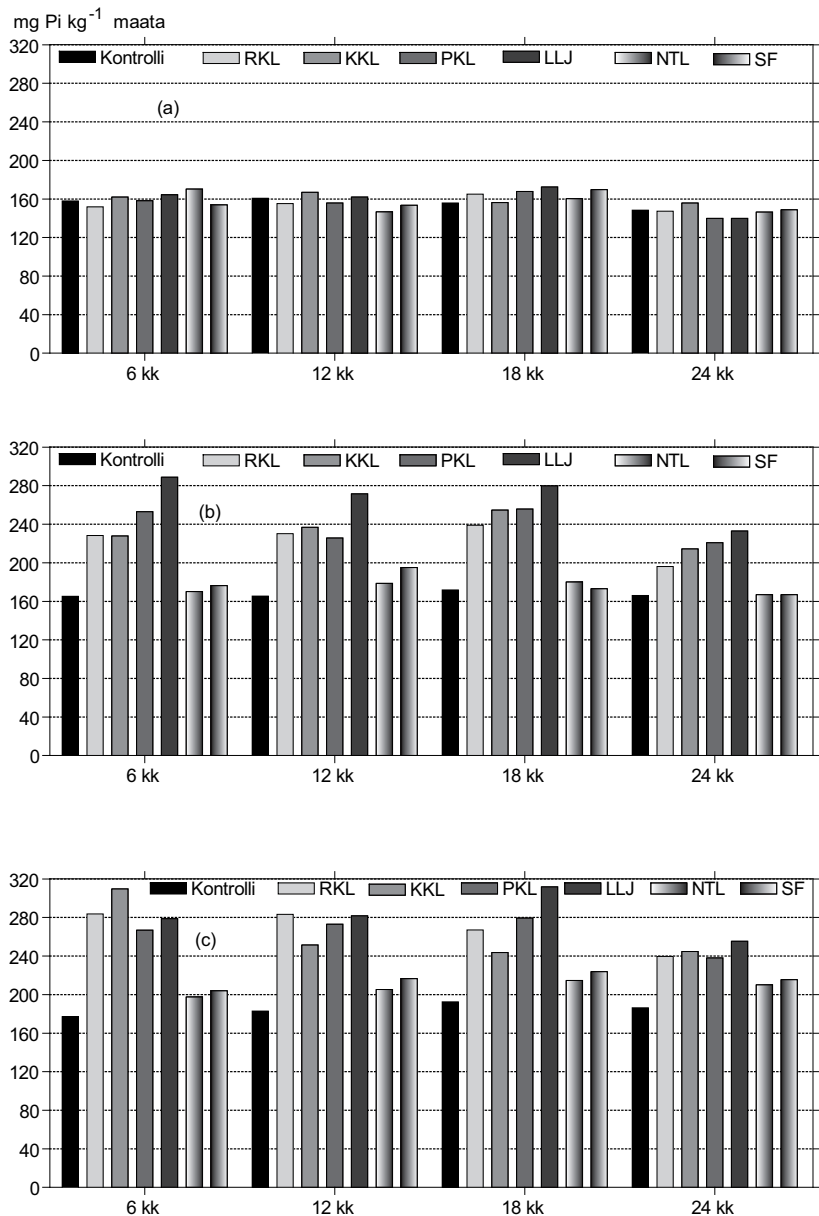


Liite 16. Hietamaan 1 M HCl –uttainen fosforipitoisuus (Pi) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 5,1-5,3), 1 (b, maan pH 6,5-7,0) ja 2 (c, maan pH 7,5-8,2).

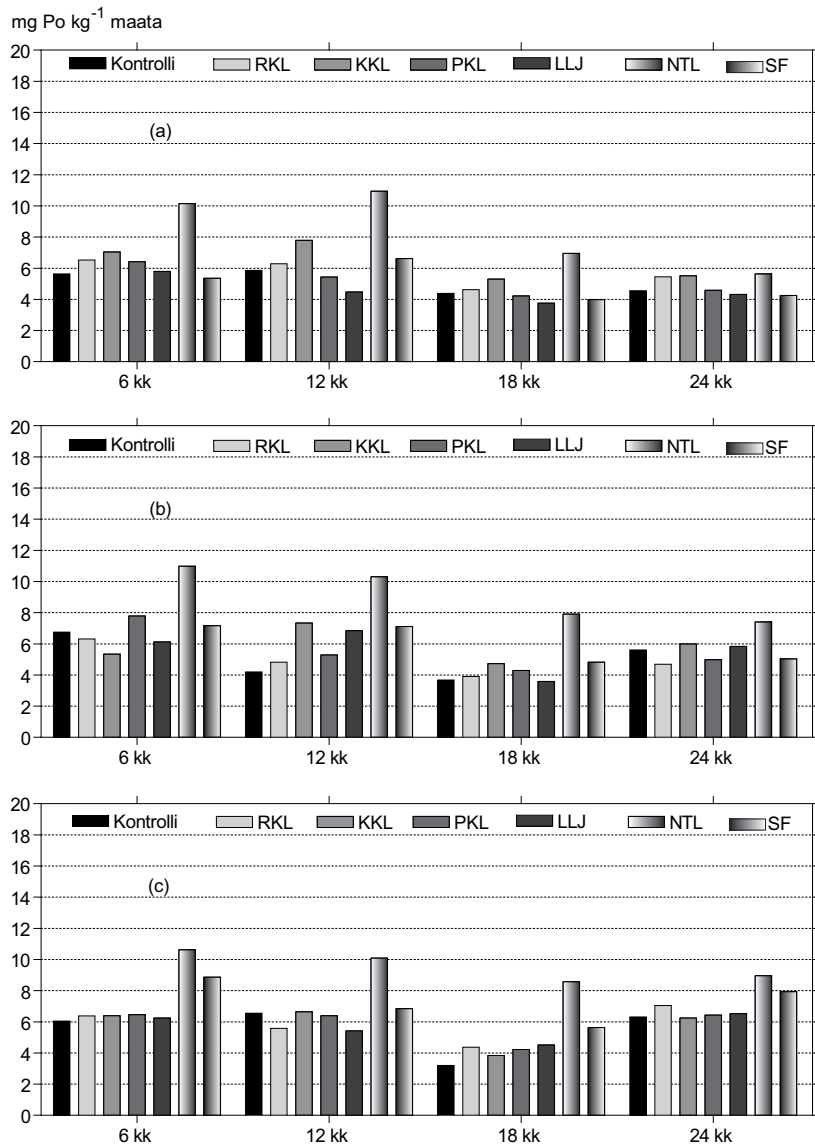




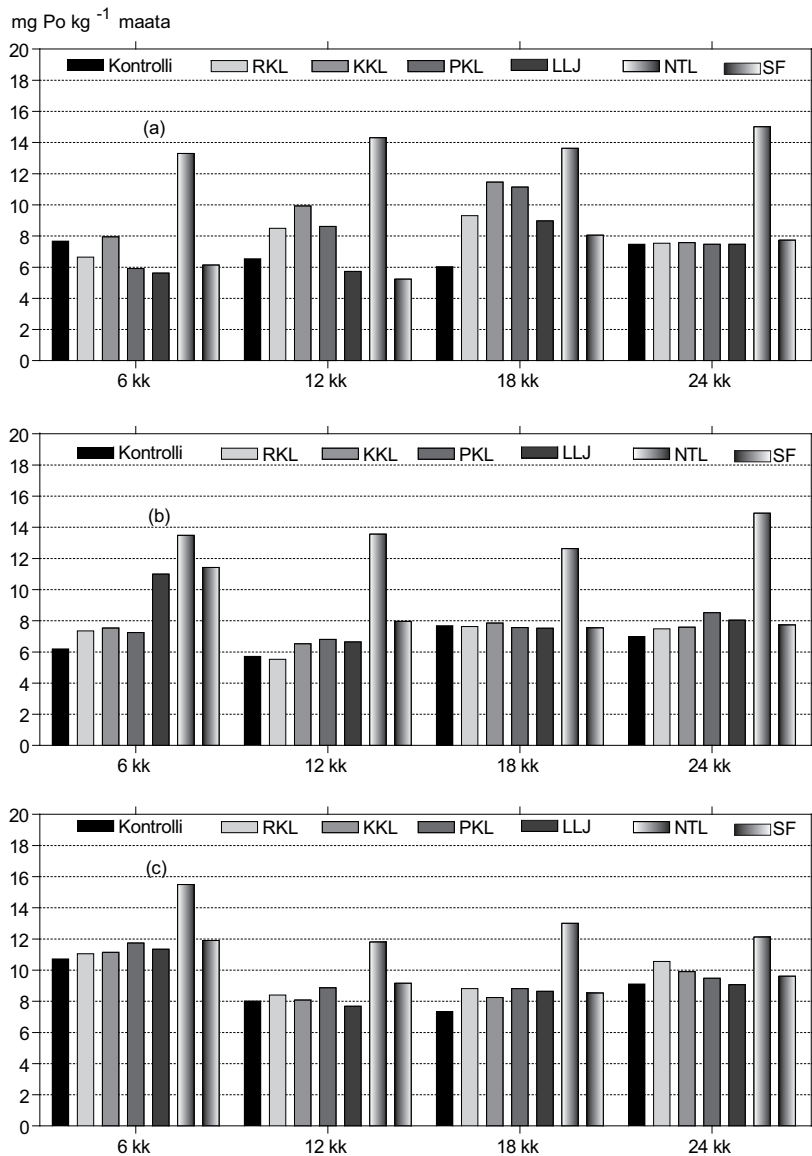
Liite 17. Savimaan 1 M HCl–uuttoinen fosforipitoisuus (Pi) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 4,9-5,2), 1 (b, maan pH 6,7-7,3) ja 2 (c, maan pH 7,6-8,1).



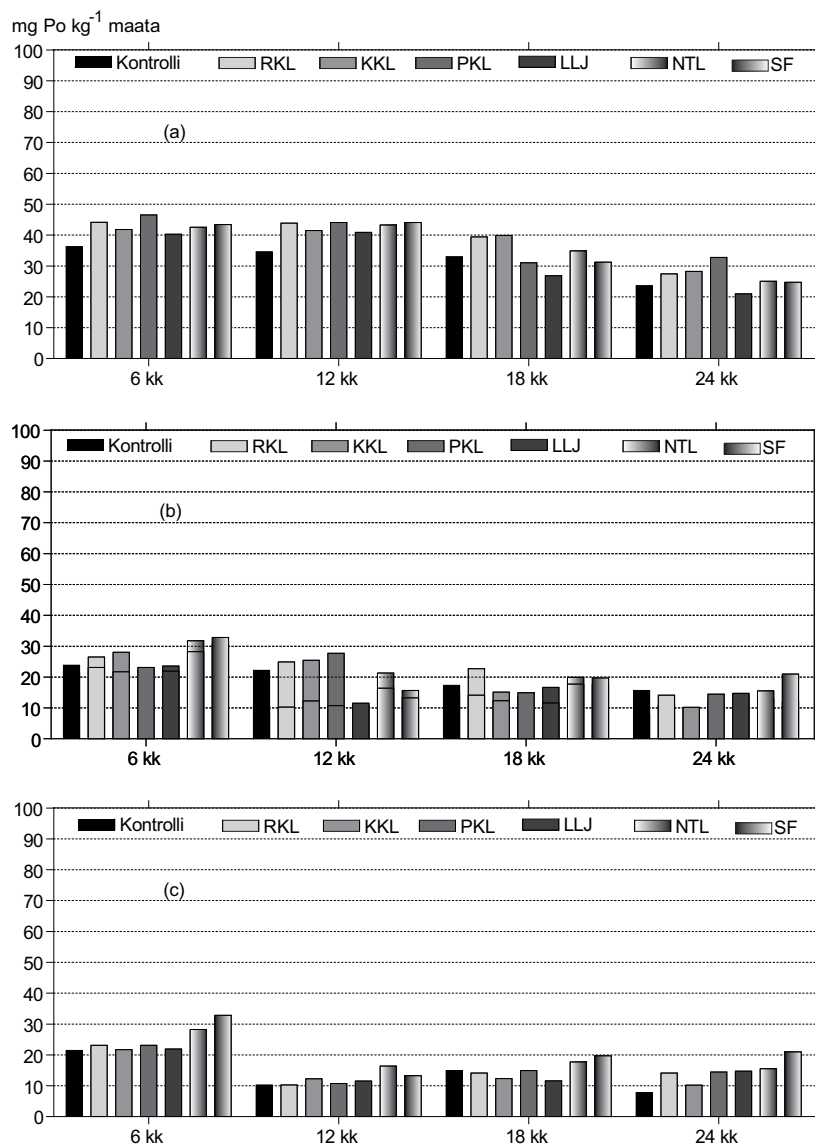
Liite 18. Hietamaan vesiuttopuinen fosforipitoisuus (Po) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 5,1-5,3), 1 (b, maan pH 6,5-7,0) ja 2 (c, maan pH 7,5-8,2).



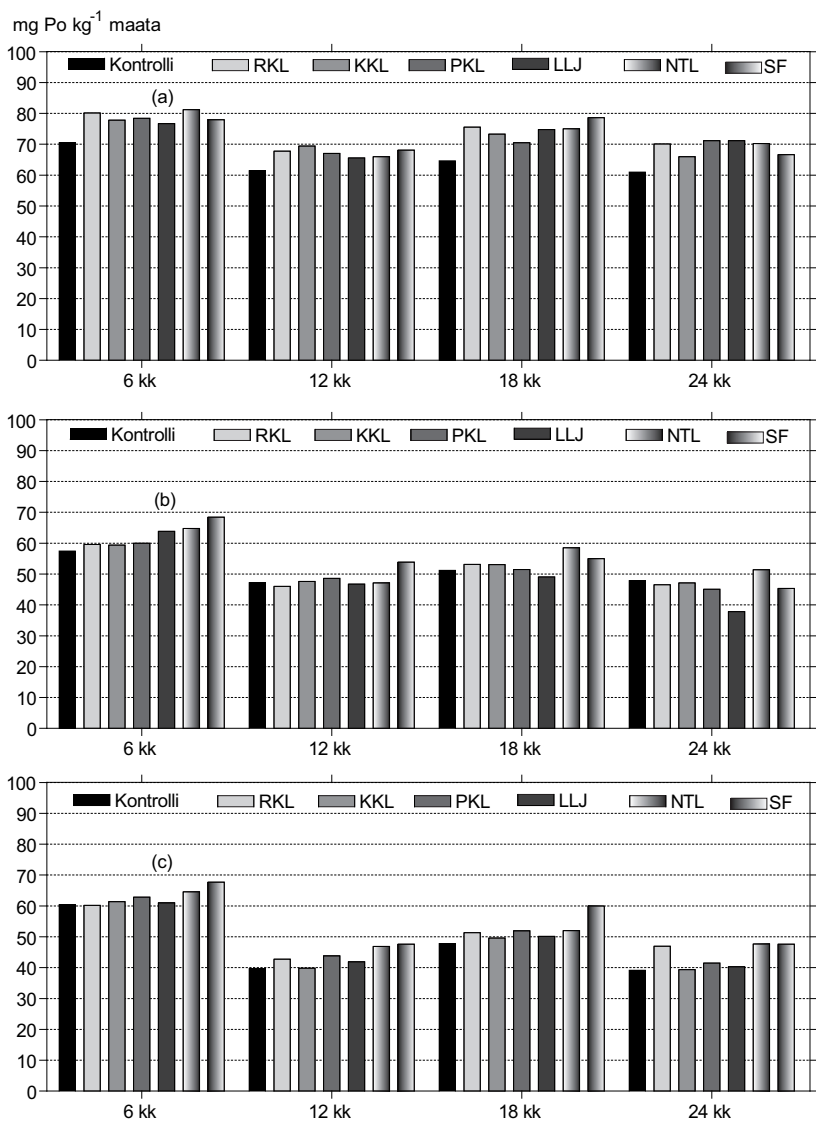
Liite 19. Savimaan vesiututoinen fosforipitoisuus (Po) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 4,9-5,2), 1 (b, maan pH 6,7-7.3) ja 2 (c, maan pH 7,6-8,1).



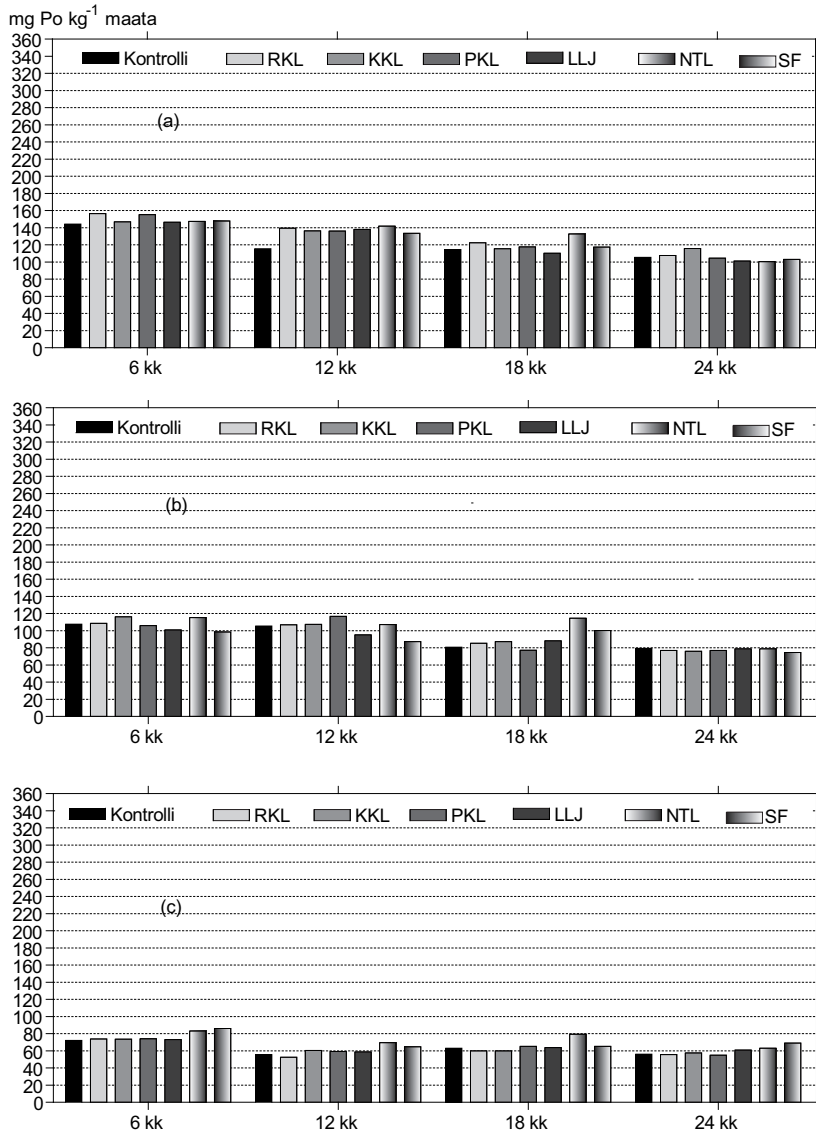
Liite 20. Hietamaan 0,5 M NaHCO<sub>3</sub> -uuttainen fosforipitoisuus (Po) kalkitus-  
tasolla 0 (a, maan pH 5,1-5,3), 1 (b, maan pH 6,5-7,0) ja 2 (c, maan pH 7,5-8,2).



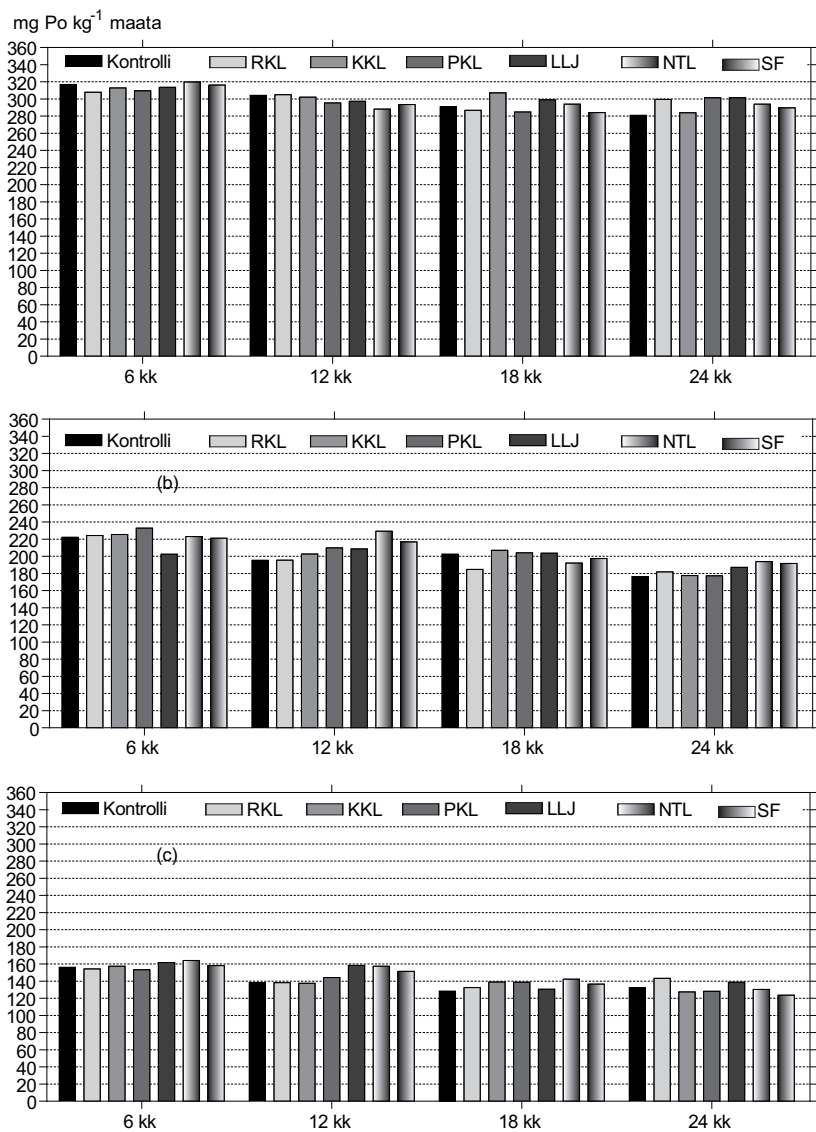
Liite 21. Savimaan 0,5 M NaHCO<sub>3</sub> -uuttainen fosforipitoisuus (Po) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 4,9-5,2), 1 (b, maan pH 6,7-7,3) ja 2 (c, maan pH 7,6-8,1).



Liite 22. Hietamaan 0,1 M NaOH -uuttainen fosforipitoisuus (Po) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 5,1-5,3), 1 (b, maan pH 6,5-7,0) ja 2 (c, maan pH 7,5-8,2).



Liite 23. Savimaan 0,1 M NaOH -uuttoinen fosforipitoisuus (Po) kalkitustasolla 0 (a, maan pH 4,9-5,2), 1 (b, maan pH 6,7-7.3) ja 2 (c, maan pH 7,6-8,1).



Liite 24. Ensimmäisen raiheinäsadon fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuudet, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, fosforin ja typen kokonaisotto, mg astia<sup>-1</sup>, ja fosfori- ja typpi-pitoisuuksien suhde (NP-suhde).

Koekäsittely	P-pitoisuus	N-pitoisuus	P:n otto	N:n otto	NP-suhde
Kontrolli	2,1 <sup>a</sup>	39,3 <sup>h</sup>	38,8 <sup>a</sup>	719 <sup>a</sup>	18,7 <sup>fg</sup>
RKL					
25	1,8 <sup>abcd</sup>	28,0 <sup>def</sup>	46,2 <sup>a</sup>	725 <sup>a</sup>	15,7 <sup>cdef</sup>
50	1,6 <sup>ab</sup>	24,6 <sup>bcd</sup>	49,1 <sup>ab</sup>	759 <sup>abc</sup>	15,5 <sup>bcdef</sup>
100	1,9 <sup>abcd</sup>	23,1 <sup>abc</sup>	71,1 <sup>de</sup>	861 <sup>def</sup>	12,2 <sup>abc</sup>
KKL					
25	1,9 <sup>abcd</sup>	30,5 <sup>ef</sup>	47,1 <sup>a</sup>	769 <sup>abc</sup>	16,3 <sup>defg</sup>
50	1,6 <sup>abc</sup>	26,9 <sup>cde</sup>	47,4 <sup>a</sup>	785 <sup>abcd</sup>	16,9 <sup>defg</sup>
100	1,8 <sup>abcd</sup>	25,3 <sup>bcd</sup>	61,2 <sup>bcd</sup>	873 <sup>efg</sup>	14,4 <sup>bcd</sup>
PKL					
25	1,8 <sup>abcd</sup>	32,0 <sup>fg</sup>	42,4 <sup>a</sup>	762 <sup>abc</sup>	18,1 <sup>efg</sup>
50	1,6 <sup>abc</sup>	27,3 <sup>cde</sup>	45,6 <sup>a</sup>	764 <sup>abc</sup>	17,0 <sup>defg</sup>
100	1,5 <sup>a</sup>	24,9 <sup>bcd</sup>	49,7 <sup>ab</sup>	821 <sup>bcde</sup>	16,6 <sup>defg</sup>
LLJ					
25	2,2 <sup>d</sup>	36,2 <sup>gh</sup>	46,8 <sup>a</sup>	782 <sup>abc</sup>	16,8 <sup>defg</sup>
50	2,1 <sup>d</sup>	35,6 <sup>gh</sup>	51,8 <sup>abc</sup>	863 <sup>efg</sup>	16,8 <sup>defg</sup>
100	1,7 <sup>abcd</sup>	34,9 <sup>g</sup>	46,5 <sup>a</sup>	924 <sup>fg</sup>	20,1 <sup>g</sup>
NTL					
25	1,5 <sup>a</sup>	24,6 <sup>bcd</sup>	48,9 <sup>ab</sup>	826 <sup>cde</sup>	16,9 <sup>defg</sup>
50	1,6 <sup>abc</sup>	23,4 <sup>bc</sup>	65,9 <sup>d</sup>	939 <sup>g</sup>	14,2 <sup>bcd</sup>
100	2,0 <sup>bcd</sup>	24,5 <sup>bcd</sup>	96,0 <sup>f</sup>	1168 <sup>h</sup>	12,2 <sup>abc</sup>
SF					
25	1,5 <sup>a</sup>	25,2 <sup>bcd</sup>	44,5 <sup>a</sup>	739 <sup>a</sup>	16,8 <sup>defg</sup>
50	1,8 <sup>abcd</sup>	21,8 <sup>ab</sup>	63,3 <sup>cd</sup>	749 <sup>abc</sup>	11,8 <sup>ab</sup>
100	2,1 <sup>cd</sup>	19,1 <sup>a</sup>	80,4 <sup>e</sup>	747 <sup>ab</sup>	9,3 <sup>a</sup>

Eri kirjaimilla merkityt käsittelyt poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Tukeyn testi, p<0,05).



Liite 25. Raiheinän kuiva-ainesadot (sato), g astia<sup>-1</sup>, fosfori (P pit.) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, sekä fosfori- ja typpipitoisuuden suhde (NP) niitoissa 1-4 ensimmäisenä koevuotena.

Koekäsittely	1. niitto			2. niitto			3. niitto			4. niitto		
	sato	P pit.	NP	sato	P pit.	NP	sato	P pit.	NP	sato	P pit.	NP
Kontrolli	18,3 <sup>a</sup>	2,1 <sup>a</sup>	18,7 <sup>fg</sup>	18,6 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	19,2 <sup>i</sup>	13,7 <sup>a</sup>	2,0 <sup>abcd</sup>	20,3 <sup>i</sup>	19,4 <sup>a</sup>	1,7 <sup>abc</sup>	19,8 <sup>i</sup>
RKL25	26,1 <sup>ode</sup>	1,8 <sup>abcd</sup>	15,7 <sup>odef</sup>	26,2 <sup>bode</sup>	2,1 <sup>abc</sup>	13,1 <sup>defgh</sup>	18,7 <sup>bdef</sup>	2,0 <sup>abcd</sup>	16,4 <sup>efgh</sup>	25,1 <sup>bc</sup>	1,8 <sup>abc</sup>	15,3 <sup>efgh</sup>
RKL50	30,9 <sup>fg</sup>	1,6 <sup>ab</sup>	15,5 <sup>bcddef</sup>	28,9 <sup>cdef</sup>	2,2 <sup>abcd</sup>	11,2 <sup>bode</sup>	22,0 <sup>defgh</sup>	2,1 <sup>abcd</sup>	14,0 <sup>cd</sup>	29,8 <sup>cdef</sup>	1,8 <sup>abc</sup>	13,3 <sup>cde</sup>
RKL100	37,4 <sup>ij</sup>	1,9 <sup>abcd</sup>	12,2 <sup>abc</sup>	30,6 <sup>def</sup>	2,7 <sup>d</sup>	8,9 <sup>ab</sup>	23,0 <sup>gh</sup>	2,7 <sup>g</sup>	10,8 <sup>a</sup>	32,9 <sup>ef</sup>	2,2 <sup>e</sup>	9,9 <sup>a</sup>
KKL25	25,4 <sup>cd</sup>	1,9 <sup>abcd</sup>	16,3 <sup>defg</sup>	23,0 <sup>abc</sup>	2,2 <sup>abcd</sup>	13,9 <sup>fgh</sup>	15,8 <sup>ab</sup>	2,2 <sup>bode</sup>	17,3 <sup>gh</sup>	24,2 <sup>ab</sup>	1,8 <sup>abc</sup>	16,2 <sup>fgh</sup>
KKL50	29,2 <sup>ef</sup>	1,6 <sup>abc</sup>	16,9 <sup>defg</sup>	26,1 <sup>bode</sup>	2,5 <sup>bcd1</sup>	1,3 <sup>bodef</sup>	18,3 <sup>abdef</sup>	2,3 <sup>defg</sup>	14,4 <sup>de</sup>	27,5 <sup>bode</sup>	1,9 <sup>abcde</sup>	13,4 <sup>cde</sup>
KKL100	34,5 <sup>hi</sup>	1,8 <sup>abcd</sup>	14,4 <sup>bode</sup>	29,4 <sup>cdef</sup>	2,7 <sup>d</sup>	9,4 <sup>abc</sup>	22,1 <sup>defgh</sup>	2,6 <sup>fg</sup>	11,5 <sup>ab</sup>	30,0 <sup>cdef</sup>	2,2 <sup>de</sup>	10,7 <sup>ab</sup>
PKL25	23,8 <sup>bc</sup>	1,8 <sup>abcd</sup>	18,1 <sup>efg</sup>	23,3 <sup>abc</sup>	2,0 <sup>abc</sup>	15,0 <sup>gh</sup>	16,9 <sup>abc</sup>	1,9 <sup>abc</sup>	18,2 <sup>hi</sup>	24,0 <sup>ab</sup>	1,6 <sup>ab</sup>	17,4 <sup>h</sup>
PKL50	28,0 <sup>def</sup>	1,6 <sup>abc</sup>	17,0 <sup>defg</sup>	25,5 <sup>bode</sup>	2,2 <sup>abcd</sup>	12,8 <sup>defg</sup>	17,7 <sup>abode</sup>	2,0 <sup>abcd</sup>	16,7 <sup>fgh</sup>	24,6 <sup>abc</sup>	1,9 <sup>bode</sup>	14,9 <sup>efg</sup>
PKL100	33,1 <sup>gh</sup>	1,5 <sup>a</sup>	16,6 <sup>defg</sup>	28,0 <sup>bcddef</sup>	2,2 <sup>abcd</sup>	11,7 <sup>bodef</sup>	21,3 <sup>cdefgh</sup>	2,1 <sup>abcd</sup>	14,7 <sup>def</sup>	26,9 <sup>bcd</sup>	1,9 <sup>abcde</sup>	13,7 <sup>cde</sup>
LLJ25	21,6 <sup>ab</sup>	2,2 <sup>d</sup>	16,8 <sup>defg</sup>	21,6 <sup>ab</sup>	2,2 <sup>abcd</sup>	15,6 <sup>h</sup>	15,3 <sup>ab</sup>	2,2 <sup>cdef</sup>	17,6 <sup>h</sup>	23,0 <sup>ab</sup>	1,8 <sup>abc</sup>	16,8 <sup>gh</sup>
LLJ50	24,3 <sup>bc</sup>	2,1 <sup>d</sup>	16,8 <sup>defg</sup>	24,4 <sup>abcd</sup>	2,3 <sup>abcd</sup>	13,3 <sup>defgh</sup>	17,6 <sup>abcd</sup>	2,3 <sup>defg</sup>	15,1 <sup>defg</sup>	27,8 <sup>bode</sup>	1,9 <sup>abcd</sup>	13,9 <sup>def</sup>
LLJ100	26,7 <sup>cde</sup>	1,7 <sup>abcd</sup>	20,1 <sup>g</sup>	27,3 <sup>bcddef</sup>	2,4 <sup>bcd</sup>	12,1 <sup>cdef</sup>	21,8 <sup>cdefgh</sup>	2,3 <sup>defg</sup>	13,3 <sup>bcd</sup>	29,9 <sup>cdef</sup>	1,9 <sup>bode</sup>	12,4 <sup>bcd</sup>
NTL25	33,5 <sup>gh</sup>	1,5 <sup>a</sup>	16,9 <sup>defg</sup>	28,8 <sup>cdef</sup>	2,3 <sup>abcd</sup>	11,4 <sup>cdef</sup>	20,0 <sup>bcddefg</sup>	1,8 <sup>ab</sup>	17,2 <sup>gh</sup>	25,4 <sup>bc</sup>	1,6 <sup>ab</sup>	16,3 <sup>fgh</sup>
NTL50	40,2 <sup>j</sup>	1,6 <sup>abc</sup>	14,2 <sup>bcd</sup>	30,8 <sup>def</sup>	2,3 <sup>abcd</sup>	10,6 <sup>acd</sup>	22,6 <sup>efgh</sup>	2,1 <sup>abcd</sup>	14,2 <sup>de</sup>	31,2 <sup>def</sup>	1,7 <sup>ab</sup>	14,0 <sup>def</sup>
NTL100	47,7 <sup>k</sup>	2,0 <sup>bcd</sup>	12,2 <sup>abc</sup>	34,1 <sup>f</sup>	2,5 <sup>cd</sup>	9,4 <sup>abc</sup>	26,1 <sup>h</sup>	2,5 <sup>efg</sup>	10,6 <sup>a</sup>	35,0 <sup>f</sup>	2,1 <sup>cde</sup>	10,2 <sup>ab</sup>
SF25	29,3 <sup>ef</sup>	1,5 <sup>a</sup>	16,8 <sup>defg</sup>	26,5 <sup>bode</sup>	2,0 <sup>ab</sup>	13,5 <sup>fgh</sup>	19,3 <sup>bcddef</sup>	1,7 <sup>a</sup>	18,0 <sup>h</sup>	25,0 <sup>bc</sup>	1,5 <sup>a</sup>	17,4 <sup>hi</sup>
SF50	34,4 <sup>ghi</sup>	1,8 <sup>abcd</sup>	11,8 <sup>ab</sup>	29,2 <sup>cdef</sup>	2,3 <sup>abcd</sup>	10,7 <sup>abcd</sup>	22,3 <sup>defgh</sup>	1,9 <sup>abc</sup>	15,0 <sup>defg</sup>	27,9 <sup>bode</sup>	1,7 <sup>abc</sup>	14,5 <sup>defg</sup>
SF100	39,2 <sup>l</sup>	2,1 <sup>cd</sup>	9,3 <sup>a</sup>	32,2 <sup>ef</sup>	2,7 <sup>d</sup>	8,3 <sup>a</sup>	24,5 <sup>gh</sup>	2,3 <sup>cdefg</sup>	11,9 <sup>abc</sup>	31,3 <sup>def</sup>	2,0 <sup>bode</sup>	11,3 <sup>abcd</sup>

Eri kirjaimilla merkityt poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Tukeyn testi, p<0,05).

Liite 26. Raiheinän kuiva-ainesadot (sato), g astia, fosfori (P pit.) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, sekä fosfori- ja typpipitoisuuden suhde (NP) niitoissa 5-8 toisena koevuotena.

Koekäsittely	5. niitto			6. niitto			7. niitto			8. niitto		
	sato	P pit.	NP	sato	P pit.	NP	sato	P pit.	NP	sato	P pit.	NP
Kontrolli	9,1 <sup>a</sup>	1,4 <sup>d</sup>	31,3 <sup>cd</sup>	15,9 <sup>a</sup>	1,5 <sup>ab</sup>	27,9 <sup>g</sup>	13,2 <sup>a</sup>	1,2 <sup>a</sup>	34,5 <sup>g</sup>	4,8 <sup>a</sup>	1,9 <sup>a</sup>	25,0 <sup>i</sup>
RKL25	16,5 <sup>a</sup>	1,4 <sup>cd</sup>	30,0 <sup>bcd</sup>	22,5 <sup>abc</sup>	1,7 <sup>abcd</sup>	25,0 <sup>defg</sup>	21,1 <sup>bcd</sup>	1,3 <sup>ab</sup>	29,7 <sup>ef</sup>	7,4 <sup>bcd</sup>	2,4 <sup>bc</sup>	19,5 <sup>efgh</sup>
RKL50	15,8 <sup>a</sup>	1,3 <sup>cd</sup>	32,3 <sup>cd</sup>	23,0 <sup>bc</sup>	1,8 <sup>cd</sup>	23,6 <sup>cdef</sup>	21,8 <sup>bcd</sup>	1,6 <sup>cde</sup>	25,0 <sup>cd</sup>	7,8 <sup>bcde</sup>	2,8 <sup>cdefg</sup>	17,5 <sup>defg</sup>
RKL100	31,8 <sup>cde</sup>	1,1 <sup>abc</sup>	24,6 <sup>ab</sup>	33,3 <sup>efg</sup>	1,9 <sup>d</sup>	17,5 <sup>a</sup>	35,0 <sup>f</sup>	1,7 <sup>def</sup>	18,1 <sup>a</sup>	9,5 <sup>efgh</sup>	3,1 <sup>fgh</sup>	14,8 <sup>ab</sup>
KKL25	13,0 <sup>a</sup>	1,3 <sup>cd</sup>	31,5 <sup>cd</sup>	18,9 <sup>ab</sup>	1,6 <sup>abc</sup>	26,0 <sup>efg</sup>	16,5 <sup>ab</sup>	1,5 <sup>cde</sup>	26,6 <sup>cdef</sup>	6,5 <sup>ab</sup>	2,5 <sup>bcd</sup>	19,0 <sup>efgh</sup>
KKL50	19,5 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>abcd</sup>	29,9 <sup>bcd</sup>	25,1 <sup>bcd</sup>	1,7 <sup>abcd</sup>	24,0 <sup>cdefg</sup>	25,5 <sup>de</sup>	1,4 <sup>bc</sup>	26,0 <sup>cdef</sup>	8,8 <sup>defg</sup>	2,7 <sup>bcd</sup>	17,4 <sup>cdef</sup>
KKL100	29,1 <sup>bcd</sup>	1,1 <sup>abc</sup>	27,0 <sup>abc</sup>	32,3 <sup>efg</sup>	1,9 <sup>cd</sup>	18,3 <sup>ab</sup>	33,7 <sup>f</sup>	1,7 <sup>def</sup>	19,0 <sup>a</sup>	9,6 <sup>efgh</sup>	3,1 <sup>efgh</sup>	14,9 <sup>abc</sup>
PKL25	15,0 <sup>a</sup>	1,3 <sup>cd</sup>	32,3 <sup>cd</sup>	21,6 <sup>ab</sup>	1,5 <sup>ab</sup>	26,1 <sup>efg</sup>	18,4 <sup>abc</sup>	1,4 <sup>abc</sup>	28,7 <sup>def</sup>	6,8 <sup>bc</sup>	2,5 <sup>bcd</sup>	19,6 <sup>efgh</sup>
PKL50	19,1 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>abcd</sup>	31,8 <sup>cd</sup>	25,4 <sup>bcd</sup>	1,8 <sup>bcd</sup>	22,2 <sup>bcd</sup>	23,8 <sup>cd</sup>	1,6 <sup>cde</sup>	23,9 <sup>bc</sup>	8,5 <sup>cdef</sup>	2,8 <sup>bcd</sup>	17,5 <sup>defg</sup>
PKL100	20,8 <sup>abc</sup>	1,2 <sup>abcd</sup>	30,8 <sup>bcd</sup>	30,1 <sup>def</sup>	1,9 <sup>d</sup>	20,2 <sup>abc</sup>	30,3 <sup>ef</sup>	1,9 <sup>f</sup>	18,9 <sup>a</sup>	10,5 <sup>gh</sup>	3,3 <sup>h</sup>	13,8 <sup>a</sup>
LLJ25	13,2 <sup>a</sup>	1,2 <sup>abcd</sup>	32,7 <sup>cd</sup>	19,9 <sup>ab</sup>	1,7 <sup>abcd</sup>	24,7 <sup>defg</sup>	18,6 <sup>abc</sup>	1,4 <sup>bcd</sup>	28,8 <sup>def</sup>	7,3 <sup>bcd</sup>	2,4 <sup>b</sup>	19,9 <sup>gh</sup>
LLJ50	19,7 <sup>abc</sup>	1,2 <sup>abcd</sup>	31,8 <sup>cd</sup>	25,1 <sup>bcd</sup>	1,8 <sup>abcd</sup>	22,5 <sup>cde</sup>	26,3 <sup>de</sup>	1,4 <sup>bcd</sup>	25,6 <sup>cde</sup>	8,9 <sup>defg</sup>	2,7 <sup>bcd</sup>	17,1 <sup>bode</sup>
LLJ100	16,7 <sup>a</sup>	1,2 <sup>abcd</sup>	32,1 <sup>cd</sup>	28,8 <sup>cde</sup>	1,9 <sup>cd</sup>	21,7 <sup>bcd</sup>	31,5 <sup>ef</sup>	1,7 <sup>ef</sup>	20,7 <sup>ab</sup>	11,5 <sup>h</sup>	3,2 <sup>gh</sup>	14,1 <sup>a</sup>
NLJ25	15,9 <sup>a</sup>	1,1 <sup>abc</sup>	31,1 <sup>cd</sup>	20,1 <sup>ab</sup>	1,5 <sup>a</sup>	26,6 <sup>fg</sup>	16,2 <sup>ab</sup>	1,4 <sup>abc</sup>	29,8 <sup>ef</sup>	6,5 <sup>ab</sup>	2,4 <sup>bc</sup>	20,0 <sup>h</sup>
NLJ50	19,0 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>abcd</sup>	31,7 <sup>cd</sup>	24,4 <sup>bcd</sup>	1,6 <sup>abcd</sup>	24,4 <sup>defg</sup>	21,6 <sup>bcd</sup>	1,5 <sup>bode</sup>	26,4 <sup>cdef</sup>	8,0 <sup>bode</sup>	2,8 <sup>bcd</sup>	17,6 <sup>defgh</sup>
NLJ100	43,5 <sup>e</sup>	1,0 <sup>a</sup>	23,3 <sup>a</sup>	36,4 <sup>fg</sup>	1,7 <sup>acd</sup>	17,7 <sup>a</sup>	36,0 <sup>f</sup>	1,5 <sup>bode</sup>	19,8 <sup>ab</sup>	9,3 <sup>defg</sup>	2,8 <sup>cdefg</sup>	15,8 <sup>abcd</sup>
SF 25	11,6 <sup>a</sup>	1,3 <sup>bcd</sup>	33,5 <sup>d</sup>	20,7 <sup>ab</sup>	1,7 <sup>abcd</sup>	25,4 <sup>defg</sup>	18,0 <sup>abc</sup>	1,4 <sup>abc</sup>	30,2 <sup>fg</sup>	6,8 <sup>bc</sup>	2,4 <sup>bc</sup>	19,9 <sup>fgh</sup>
SF 50	18,3 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>abcd</sup>	33,3 <sup>cd</sup>	24,6 <sup>bcd</sup>	1,8 <sup>cd</sup>	22,8 <sup>cdef</sup>	21,7 <sup>bcd</sup>	1,6 <sup>cde</sup>	25,1 <sup>cd</sup>	7,4 <sup>bcd</sup>	2,9 <sup>defg</sup>	17,6 <sup>defgh</sup>
SF 100	38,5 <sup>de</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	22,3 <sup>a</sup>	37,3 <sup>g</sup>	1,8 <sup>abcd</sup>	17,0 <sup>a</sup>	34,3 <sup>f</sup>	1,6 <sup>cde</sup>	18,9 <sup>a</sup>	10,4 <sup>fgh</sup>	3,0 <sup>efgh</sup>	14,6 <sup>a</sup>

Eri kirjaimilla merkityt käsitellyt poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (p<0,05, Tukeyn testi).

Liite 27. Raiheinän kuiva-ainesadot (sato), g kuiva-ainetta, fosfori (P pit.) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta sekä fosfori- ja typpipitoisuuksien suhde (NP) niitoissa 9–10 kolmantena koevuotena.

Koekäsittely	9. niitto			10. niitto		
	sato	P pit.	NP	sato	P pit.	NP
Kontrolli	17,0 <sup>a</sup>	0,9 <sup>ab</sup>	41,3 <sup>a</sup>	12,3 <sup>a</sup>	1,2 <sup>a</sup>	38,3 <sup>d</sup>
RKL25	18,5 <sup>ab</sup>	0,9 <sup>a</sup>	41,6 <sup>a</sup>	13,2 <sup>ab</sup>	1,4 <sup>abc</sup>	30,2 <sup>bcd</sup>
RKL50	26,5 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	35,5 <sup>a</sup>	20,0 <sup>def</sup>	1,5 <sup>abc</sup>	25,8 <sup>abc</sup>
RKL100	28,2 <sup>ab</sup>	1,2 <sup>b</sup>	25,3 <sup>a</sup>	24,6 <sup>f</sup>	1,7 <sup>c</sup>	19,6 <sup>ab</sup>
KKL25	24,2 <sup>ab</sup>	0,9 <sup>ab</sup>	38,5 <sup>a</sup>	17,8 <sup>abcde</sup>	1,5 <sup>abc</sup>	29,0 <sup>abcd</sup>
KKL50	22,5 <sup>ab</sup>	0,9 <sup>ab</sup>	36,3 <sup>a</sup>	19,6 <sup>cdef</sup>	1,5 <sup>abc</sup>	27,4 <sup>abc</sup>
KKL100	27,1 <sup>ab</sup>	1,1 <sup>ab</sup>	26,6 <sup>a</sup>	21,9 <sup>def</sup>	1,5 <sup>abc</sup>	21,6 <sup>abc</sup>
PKL25	22,2 <sup>ab</sup>	0,9 <sup>a</sup>	40,0 <sup>a</sup>	16,3 <sup>abcde</sup>	1,4 <sup>abc</sup>	28,2 <sup>abcd</sup>
PKL50	22,7 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	33,4 <sup>a</sup>	18,1 <sup>abcde</sup>	1,5 <sup>abc</sup>	26,1 <sup>abc</sup>
PKL100	28,4 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	27,2 <sup>a</sup>	22,5 <sup>ef</sup>	1,6 <sup>bc</sup>	19,1 <sup>a</sup>
LLJ25	24,8 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	37,1 <sup>a</sup>	16,7 <sup>abcde</sup>	1,5 <sup>abc</sup>	27,1 <sup>abc</sup>
LLJ50	24,4 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	34,3 <sup>a</sup>	16,9 <sup>abcde</sup>	1,6 <sup>bc</sup>	24,9 <sup>abc</sup>
LLJ100	26,5 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	25,6 <sup>a</sup>	20,7 <sup>def</sup>	1,6 <sup>bc</sup>	21,5 <sup>abc</sup>
NTL25	17,7 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	36,8 <sup>a</sup>	13,7 <sup>abc</sup>	1,4 <sup>abc</sup>	28,7 <sup>abcd</sup>
NTL50	30,7 <sup>b</sup>	0,9 <sup>a</sup>	32,5 <sup>a</sup>	15,8 <sup>abcd</sup>	1,3 <sup>ab</sup>	28,5 <sup>abcd</sup>
NTL100	27,1 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	28,9 <sup>a</sup>	18,6 <sup>abcdef</sup>	1,5 <sup>abc</sup>	23,0 <sup>abc</sup>
SF 25	23,8 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	34,7 <sup>a</sup>	19,0 <sup>bcdef</sup>	1,3 <sup>ab</sup>	31,2 <sup>cd</sup>
SF 50	30,0 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>ab</sup>	32,9 <sup>a</sup>	19,2 <sup>bcdef</sup>	1,5 <sup>abc</sup>	26,8 <sup>abc</sup>
SF 100	30,6 <sup>b</sup>	1,1 <sup>ab</sup>	25,4 <sup>a</sup>	22,5 <sup>ef</sup>	1,5 <sup>abc</sup>	20,3 <sup>ab</sup>

Eri kirjaimilla merkityt käsittelyt poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,05$ , Tukeyn testi).

Liite 28. Fosforin jakautuminen Hedleyn fraktioihin ensimmäisen kasvukauden jälkeän astiakoemaassa, mg kg<sup>-1</sup>

	P <sub>vesi</sub>		P <sub>NaHCO3</sub>		P <sub>NaOH</sub>		P <sub>HCl</sub>	
	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	ΣPi ja Po
Lähtötilanne	4,4	7,8	37,1	30,0	105,9	112,5	176,5	474,2
Kontrolli	2,3 <sup>a</sup>	7,7 <sup>a</sup>	29,1 <sup>ab</sup>	42,7 <sup>abcd</sup>	96,7 <sup>ab</sup>	108,8 <sup>a</sup>	173,1 <sup>ab</sup>	460,4
RKL25	2,8 <sup>ab</sup>	9,2 <sup>abcd</sup>	28,5 <sup>a</sup>	46,7 <sup>cd</sup>	94,1 <sup>a</sup>	117,4 <sup>ab</sup>	174,9 <sup>abc</sup>	473,6
RKL50	3,7 <sup>abcd</sup>	10,2 <sup>abcd</sup>	31,9 <sup>abc</sup>	48,2 <sup>d</sup>	100,3 <sup>ab</sup>	115,6 <sup>ab</sup>	186,1 <sup>abcd</sup>	496,0
RKL100	7,9 <sup>e</sup>	11,5 <sup>bcd</sup>	44,2 <sup>ef</sup>	42,7 <sup>abcd</sup>	110,6 <sup>abc</sup>	118,9 <sup>ab</sup>	218,0 <sup>de</sup>	553,7
KKL25	3,0 <sup>abc</sup>	9,6 <sup>abcd</sup>	30,1 <sup>ab</sup>	46,0 <sup>bcd</sup>	98,8 <sup>ab</sup>	122,7 <sup>abc</sup>	178,9 <sup>abcd</sup>	489,1
KKL50	4,2 <sup>abcd</sup>	9,9 <sup>abcd</sup>	35,3 <sup>abcde</sup>	40,7 <sup>abcd</sup>	110,9 <sup>abc</sup>	125,3 <sup>abcd</sup>	178,2 <sup>abcd</sup>	504,3
KKL100	5,7 <sup>bcde</sup>	12,4 <sup>cd</sup>	42,2 <sup>def</sup>	38,6 <sup>abcd</sup>	118,0 <sup>cd</sup>	140,7 <sup>d</sup>	215,3 <sup>cde</sup>	572,9
PKL25	3,9 <sup>abcd</sup>	9,7 <sup>abcd</sup>	31,5 <sup>abc</sup>	37,7 <sup>abcd</sup>	101,0 <sup>abc</sup>	138,7 <sup>cd</sup>	192,2 <sup>abcd</sup>	514,7
PKL50	3,1 <sup>abc</sup>	9,1 <sup>abc</sup>	28,6 <sup>ab</sup>	37,5 <sup>abcd</sup>	96,9 <sup>ab</sup>	136,7 <sup>cd</sup>	172,7 <sup>ab</sup>	484,7
PKL100	5,8 <sup>bcde</sup>	10,5 <sup>abcd</sup>	40,7 <sup>cdef</sup>	39,7 <sup>abcd</sup>	109,2 <sup>abc</sup>	117,8 <sup>ab</sup>	212,2 <sup>bcde</sup>	535,9
LLJ25	2,8 <sup>ab</sup>	9,5 <sup>abcd</sup>	29,1 <sup>ab</sup>	33,8 <sup>abc</sup>	96,6 <sup>ab</sup>	128,2 <sup>bcd</sup>	172,2 <sup>ab</sup>	472,4
LLJ50	3,3 <sup>abc</sup>	10,8 <sup>abcd</sup>	30,0 <sup>ab</sup>	32,6 <sup>a</sup>	97,5 <sup>ab</sup>	125,3 <sup>abcd</sup>	202,4 <sup>abcd</sup>	501,9
LLJ100	5,4 <sup>abcde</sup>	12,6 <sup>d</sup>	38,3 <sup>bcdef</sup>	31,3 <sup>a</sup>	102,3 <sup>abc</sup>	125,3 <sup>abcd</sup>	245,0 <sup>e</sup>	560,9
NTL25	4,2 <sup>abcd</sup>	11,6 <sup>cd</sup>	28,5 <sup>a</sup>	36,2 <sup>abcd</sup>	99,3 <sup>ab</sup>	126,9 <sup>bcd</sup>	173,4 <sup>ab</sup>	480,1
NTL50	3,4 <sup>abcd</sup>	12,5 <sup>cd</sup>	32,7 <sup>abcd</sup>	31,0 <sup>a</sup>	105,0 <sup>abc</sup>	116,7 <sup>ab</sup>	169,1 <sup>a</sup>	470,5
NTL100	6,0 <sup>cde</sup>	19,1 <sup>e</sup>	37,9 <sup>abcde</sup>	32,8 <sup>ab</sup>	111,1 <sup>abc</sup>	122,0 <sup>abc</sup>	173,6 <sup>ab</sup>	502,5
SF25	2,9 <sup>abc</sup>	11,2 <sup>bcd</sup>	33,0 <sup>abcd</sup>	33,2 <sup>ab</sup>	111,2 <sup>bc</sup>	112,6 <sup>ab</sup>	177,2 <sup>abcd</sup>	481,3
SF50	4,1 <sup>abcd</sup>	8,1 <sup>ab</sup>	35,4 <sup>abcde</sup>	34,2 <sup>abc</sup>	108,7 <sup>abc</sup>	117,2 <sup>ab</sup>	168,4 <sup>a</sup>	476,2
SF100	6,4 <sup>de</sup>	10,2 <sup>abcd</sup>	47,6 <sup>f</sup>	38,0 <sup>abcd</sup>	129,8 <sup>d</sup>	127,9 <sup>bcd</sup>	175,2 <sup>abc</sup>	535,2

Fraktiot testattu erikseen. Eri kirjaimilla merkityt koejäsenten keskiarvot poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Tukeyntesti, p<0,05).

Liite 29. Fosforin jakautuminen Hedleyn fraktioihin toisen kasvukauden jälkeen astiakoemaassa, mg kg<sup>-1</sup>.

	P <sub>vesi</sub>		P <sub>NaHCO3</sub>		P <sub>NaOH</sub>		P <sub>HCl</sub>		ΣPi ja Po
	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	
Kontrolli	1,0 <sup>a</sup>	5,3 <sup>a</sup>	25,1 <sup>a</sup>	32,1 <sup>ab</sup>	84,7 <sup>a</sup>	119,7 <sup>abc</sup>	177,8 <sup>a</sup>	177,8 <sup>a</sup>	445,8
RKL 25	1,7 <sup>ab</sup>	7,2 <sup>abc</sup>	26,3 <sup>ab</sup>	35,7 <sup>abcde</sup>	89,4 <sup>ab</sup>	127,1 <sup>abc</sup>	190,1 <sup>ab</sup>	190,1 <sup>ab</sup>	477,6
RKL 50	2,5 <sup>abc</sup>	7,1 <sup>abc</sup>	31,1 <sup>bcdefgh</sup>	35,6 <sup>abcde</sup>	95,7 <sup>abcd</sup>	127,5 <sup>abc</sup>	182,6 <sup>a</sup>	182,6 <sup>a</sup>	482,1
RKL 100	5,3 <sup>e</sup>	12,3 <sup>hi</sup>	35,4 <sup>h</sup>	36,5 <sup>bode</sup>	107,2 <sup>ef</sup>	116,9 <sup>ab</sup>	190,4 <sup>ab</sup>	190,4 <sup>ab</sup>	504,0
KKL 25	1,9 <sup>ab</sup>	7,8 <sup>abcd</sup>	28,0 <sup>abcd</sup>	35,8 <sup>bode</sup>	95,7 <sup>abcd</sup>	122,9 <sup>abc</sup>	174,5 <sup>a</sup>	174,5 <sup>a</sup>	466,6
KKL 50	2,2 <sup>abc</sup>	11,9 <sup>ghi</sup>	29,3 <sup>bcdef</sup>	40,1 <sup>e</sup>	96,9 <sup>bode</sup>	133,0 <sup>bc</sup>	182,7 <sup>a</sup>	182,7 <sup>a</sup>	496,0
KKL 100	3,3 <sup>bode</sup>	12,6 <sup>hi</sup>	33,9 <sup>gh</sup>	38,8 <sup>de</sup>	106,0 <sup>def</sup>	129,1 <sup>abc</sup>	186,4 <sup>ab</sup>	186,4 <sup>ab</sup>	510,2
PKL 25	2,0 <sup>abc</sup>	9,7 <sup>bcdefgh</sup>	26,5 <sup>ab</sup>	37,8 <sup>cde</sup>	89,9 <sup>ab</sup>	123,7 <sup>abc</sup>	184,2 <sup>a</sup>	184,2 <sup>a</sup>	473,8
PKL 50	2,2 <sup>abc</sup>	9,1 <sup>bdefgh</sup>	30,0 <sup>bcdefg</sup>	34,8 <sup>abcd</sup>	97,8 <sup>bode</sup>	128,4 <sup>abc</sup>	172,0 <sup>a</sup>	172,0 <sup>a</sup>	474,3
PKL 100	4,7 <sup>de</sup>	10,0 <sup>cdefgh</sup>	34,6 <sup>gh</sup>	34,2 <sup>abc</sup>	98,0 <sup>bode</sup>	128,9 <sup>abc</sup>	187,3 <sup>ab</sup>	187,3 <sup>ab</sup>	497,7
LLJ 25	1,6 <sup>ab</sup>	7,7 <sup>abcd</sup>	28,4 <sup>abcde</sup>	32,5 <sup>ab</sup>	91,7 <sup>ab</sup>	127,4 <sup>abc</sup>	186,3 <sup>ab</sup>	186,3 <sup>ab</sup>	475,6
LLJ 50	2,1 <sup>abc</sup>	8,4 <sup>bcddef</sup>	26,8 <sup>abc</sup>	31,1 <sup>a</sup>	94,0 <sup>abc</sup>	118,7 <sup>ab</sup>	180,3 <sup>a</sup>	180,3 <sup>a</sup>	461,4
LLJ 100	3,6 <sup>bode</sup>	10,8 <sup>efgh</sup>	33,1 <sup>efgh</sup>	32,2 <sup>ab</sup>	97,2 <sup>bode</sup>	122,8 <sup>abc</sup>	211,9 <sup>b</sup>	211,9 <sup>b</sup>	511,4
NTL 25	2,0 <sup>abc</sup>	8,0 <sup>abcde</sup>	26,9 <sup>abc</sup>	35,1 <sup>abcd</sup>	92,3 <sup>ab</sup>	135,2 <sup>c</sup>	177,7 <sup>a</sup>	177,7 <sup>a</sup>	477,1
NTL 50	2,4 <sup>abc</sup>	11,2 <sup>ghi</sup>	29,6 <sup>bcdef</sup>	34,7 <sup>abcd</sup>	96,8 <sup>bode</sup>	131,1 <sup>bc</sup>	180,1 <sup>a</sup>	180,1 <sup>a</sup>	486,1
NTL 100	4,0 <sup>cde</sup>	13,8 <sup>i</sup>	31,5 <sup>cdefgh</sup>	33,6 <sup>abc</sup>	99,5 <sup>bcdef</sup>	125,4 <sup>abc</sup>	172,2 <sup>a</sup>	172,2 <sup>a</sup>	480,1
SF 25	1,7 <sup>ab</sup>	6,8 <sup>ab</sup>	28,4 <sup>abcde</sup>	32,9 <sup>ab</sup>	94,3 <sup>abc</sup>	127,1 <sup>abc</sup>	183,9 <sup>a</sup>	183,9 <sup>a</sup>	475,1
SF 50	2,1 <sup>abc</sup>	8,5 <sup>bcddef</sup>	31,8 <sup>defgh</sup>	32,9 <sup>ab</sup>	104,1 <sup>cdef</sup>	117,6 <sup>ab</sup>	180,1 <sup>a</sup>	180,1 <sup>a</sup>	477,1
SF 100	3,0 <sup>abcd</sup>	10,3 <sup>defgh</sup>	34,7 <sup>gh</sup>	33,9 <sup>abc</sup>	110,0 <sup>f</sup>	113,3 <sup>a</sup>	182,7 <sup>a</sup>	182,7 <sup>a</sup>	487,9

Fraktiot testattu erikseen. Eri kirjaimilla merkityt koejäsenten keskiarvot poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Tukeyn testi, p<0,05).

Liite 30. Fosforin jakautuminen Hedleyn fraktioihin kolmannen kasvukauden jälkeen astiakoemaassa, mg kg<sup>-1</sup>.

	P <sub>vesi</sub>		P <sub>NaHCO3</sub>		P <sub>NaOH</sub>		P <sub>HCl</sub>		ΣPi ja Po
	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	
Kontrolli	0,9 <sup>a</sup>	6,4 <sup>a</sup>	21,8 <sup>abcd</sup>	29,6 <sup>ab</sup>	79,0 <sup>a</sup>	121,1 <sup>abcd</sup>	166,5 <sup>ab</sup>		425,3
RKL 25	1,0 <sup>a</sup>	8,9 <sup>abcddefg</sup>	21,0 <sup>ab</sup>	30,3 <sup>ab</sup>	78,1 <sup>a</sup>	120,9 <sup>abc</sup>	175,3 <sup>abc</sup>		435,5
RKL 50	1,5 <sup>abcdef</sup>	9,4 <sup>bcdefg</sup>	23,9 <sup>abcde</sup>	32,1 <sup>ab</sup>	86,9 <sup>abc</sup>	118,4 <sup>ab</sup>	176,7 <sup>abc</sup>		448,9
RKL 100	2,4 <sup>fg</sup>	10,8 <sup>efgh</sup>	28,1 <sup>ef</sup>	33,3 <sup>ab</sup>	92,2 <sup>abc</sup>	122,0 <sup>abcd</sup>	191,1 <sup>bcdef</sup>		479,8
KKL 25	1,0 <sup>a</sup>	8,3 <sup>abcdef</sup>	21,1 <sup>abc</sup>	30,7 <sup>ab</sup>	80,7 <sup>a</sup>	117,2 <sup>ab</sup>	187,4 <sup>abcde</sup>		446,5
KKL 50	1,4 <sup>abcde</sup>	7,6 <sup>abcd</sup>	25,1 <sup>abcde</sup>	26,6 <sup>a</sup>	91,1 <sup>abc</sup>	118,5 <sup>ab</sup>	188,2 <sup>bcde</sup>		458,4
KKL 100	2,3 <sup>defg</sup>	10,5 <sup>defgh</sup>	25,1 <sup>abcde</sup>	32,6 <sup>ab</sup>	112,3 <sup>cde</sup>	119,8 <sup>abc</sup>	207,1 <sup>defgh</sup>		510,2
PKL 25	1,0 <sup>a</sup>	6,4 <sup>ab</sup>	21,5 <sup>abc</sup>	27,6 <sup>a</sup>	100,3 <sup>abcd</sup>	115,0 <sup>ab</sup>	187,9 <sup>bcde</sup>		459,8
PKL 50	1,3 <sup>abc</sup>	7,8 <sup>abcde</sup>	23,0 <sup>abcde</sup>	26,4 <sup>a</sup>	103,8 <sup>abcd</sup>	109,2 <sup>a</sup>	195,8 <sup>cdefg</sup>		467,3
PKL 100	2,2 <sup>cdefg</sup>	8,9 <sup>bcdefg</sup>	26,7 <sup>def</sup>	31,2 <sup>ab</sup>	132,1 <sup>e</sup>	(68,8) <sup>§</sup>	221,0 <sup>gh</sup>		474,1
LLJ25	1,4 <sup>abcd</sup>	6,8 <sup>abc</sup>	20,0 <sup>a</sup>	27,1 <sup>a</sup>	85,7 <sup>ab</sup>	121,0 <sup>abc</sup>	174,7 <sup>abc</sup>		436,3
LLJ50	1,6 <sup>bcdef</sup>	7,8 <sup>abcde</sup>	21,7 <sup>abcd</sup>	28,0 <sup>ab</sup>	82,2 <sup>ab</sup>	132,3 <sup>cde</sup>	198,5 <sup>cdefg</sup>		473,9
LLJ100	2,4 <sup>efg</sup>	10,5 <sup>defgh</sup>	26,2 <sup>cdef</sup>	28,8 <sup>ab</sup>	92,7 <sup>abc</sup>	127,0 <sup>bcde</sup>	228,0 <sup>h</sup>		515,6
NL 25	1,1 <sup>ab</sup>	7,4 <sup>abc</sup>	21,2 <sup>abc</sup>	30,4 <sup>ab</sup>	103,2 <sup>abcd</sup>	(69,8) <sup>§</sup>	180,6 <sup>abcd</sup>		413,7
NL 50	1,4 <sup>abcde</sup>	11,0 <sup>fgh</sup>	22,7 <sup>abcd</sup>	31,1 <sup>ab</sup>	86,0 <sup>ab</sup>	136,6 <sup>ef</sup>	161,3 <sup>a</sup>		450,2
NL 100	2,99	12,7 <sup>h</sup>	25,1 <sup>abcde</sup>	32,7 <sup>ab</sup>	89,2 <sup>abc</sup>	145,9 <sup>f</sup>	173,7 <sup>abc</sup>		482,3
SF25	1,1 <sup>ab</sup>	8,5 <sup>abcdef</sup>	23,9 <sup>abcde</sup>	28,9 <sup>ab</sup>	97,6 <sup>abcd</sup>	119,0 <sup>ab</sup>	186,4 <sup>abcde</sup>		465,3
SF50	1,6 <sup>bcdef</sup>	9,6 <sup>cdefg</sup>	25,3 <sup>bcde</sup>	29,9 <sup>ab</sup>	107,1 <sup>bcde</sup>	127,6 <sup>bcde</sup>	211,7 <sup>efgh</sup>		512,7
SF100	2,0 <sup>bcdefg</sup>	11,7 <sup>gh</sup>	30,7 <sup>f</sup>	34,8 <sup>b</sup>	121,0 <sup>de</sup>	133,9 <sup>def</sup>	214,9 <sup>fgh</sup>		549,1

Fraktiot testattu erikseen. Eri kirjaimilla merkityt koejäsenten keskiarvot poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Tukeyn testi, p<0,05). <sup>§</sup>Todennäköinen analyysivirhe ja jätettiin huomiotta tilastoanalyysissä.

Liite 31. Astiakoemaiden viljavuusanalyysin fosfori (P)-, kalium (K)-, magnesium (Mg)- ja kalsium (Ca) -pitoisuudet ja pH kasvu-  
kausien jälkeen. Ravinnepitoisuudet mg l<sup>-1</sup>.

	1. koevuosi						2. koevuosi						3. koevuosi					
	P	K	Mg	Ca	pH	P	P	K	Mg	Ca	pH	P	P	KM	Mg	Ca	pH	
Kontrolli	2,3 <sup>a</sup>	259 <sup>d</sup>	79 <sup>abc</sup>	866 <sup>a</sup>	5,9 <sup>ab</sup>	2,7 <sup>a</sup>	539 <sup>h</sup>	118 <sup>cd</sup>	948 <sup>abcd</sup>	5,1 <sup>a</sup>	1,7 <sup>a</sup>	472 <sup>e</sup>	130 <sup>ab</sup>	1589 <sup>a</sup>	6,0 <sup>a</sup>			
RKL 25	3,4 <sup>ab</sup>	182 <sup>abc</sup>	76 <sup>abc</sup>	1113 <sup>ab</sup>	6,1 <sup>bc</sup>	3,1 <sup>a</sup>	395 <sup>efg</sup>	86 <sup>ab</sup>	867 <sup>ab</sup>	5,6 <sup>cdef</sup>	2,3 <sup>ab</sup>	354 <sup>cde</sup>	111 <sup>ab</sup>	1576 <sup>a</sup>	6,3 <sup>ab</sup>			
RKL 50	4,5 <sup>ab</sup>	150 <sup>abc</sup>	76 <sup>abc</sup>	1147 <sup>ab</sup>	6,1 <sup>bc</sup>	3,8 <sup>abc</sup>	362 <sup>defg</sup>	88 <sup>ab</sup>	834 <sup>ab</sup>	5,4 <sup>abcde</sup>	2,7 <sup>bc</sup>	257 <sup>abcd</sup>	93 <sup>ab</sup>	1491 <sup>a</sup>	6,4 <sup>ab</sup>			
RKL 100	10,8 <sup>cd</sup>	132 <sup>a</sup>	79 <sup>abc</sup>	1241 <sup>b</sup>	6,2 <sup>bc</sup>	6,5 <sup>de</sup>	194 <sup>a</sup>	86 <sup>ab</sup>	1067 <sup>cd</sup>	5,9 <sup>hi</sup>	3,9 <sup>de</sup>	158 <sup>a</sup>	102 <sup>ab</sup>	1435 <sup>a</sup>	6,2 <sup>ab</sup>			
KKL 25	3,0 <sup>a</sup>	206 <sup>cd</sup>	72 <sup>ab</sup>	961 <sup>ab</sup>	6,0 <sup>abc</sup>	3,3 <sup>ab</sup>	407 <sup>efg</sup>	105 <sup>abc</sup>	1015 <sup>bcd</sup>	5,5 <sup>bcddef</sup>	2,5 <sup>abc</sup>	297 <sup>abcd</sup>	99 <sup>ab</sup>	1455 <sup>a</sup>	6,2 <sup>ab</sup>			
KKL 50	4,1 <sup>ab</sup>	173 <sup>abc</sup>	73 <sup>ab</sup>	936 <sup>ab</sup>	6,0 <sup>ab</sup>	4,0 <sup>abc</sup>	330 <sup>cde</sup>	85 <sup>ab</sup>	833 <sup>ab</sup>	5,6 <sup>cdef</sup>	3,2 <sup>cd</sup>	261 <sup>abcd</sup>	107 <sup>ab</sup>	1604 <sup>a</sup>	6,5 <sup>b</sup>			
KKL 100	7,8 <sup>abcd</sup>	134 <sup>ab</sup>	76 <sup>abc</sup>	1096 <sup>ab</sup>	6,1 <sup>abc</sup>	5,6 <sup>bcd</sup>	244 <sup>abc</sup>	89 <sup>ab</sup>	971 <sup>abcd</sup>	5,8 <sup>fghi</sup>	4,2 <sup>e</sup>	173 <sup>ab</sup>	100 <sup>ab</sup>	1395 <sup>a</sup>	6,2 <sup>ab</sup>			
PKL 25	4,6 <sup>abc</sup>	191 <sup>bc</sup>	80 <sup>abc</sup>	1034 <sup>ab</sup>	6,0 <sup>ab</sup>	3,4 <sup>ab</sup>	428 <sup>fg</sup>	91 <sup>ab</sup>	796 <sup>a</sup>	5,3 <sup>abc</sup>	2,6 <sup>bc</sup>	336 <sup>bode</sup>	110 <sup>ab</sup>	1549 <sup>a</sup>	6,3 <sup>ab</sup>			
PKL 50	3,8 <sup>ab</sup>	186 <sup>abc</sup>	80 <sup>abc</sup>	1042 <sup>ab</sup>	6,0 <sup>abc</sup>	3,7 <sup>abc</sup>	336 <sup>cdef</sup>	88 <sup>ab</sup>	887 <sup>abc</sup>	5,6 <sup>cdefg</sup>	4,1 <sup>e</sup>	264 <sup>abcd</sup>	103 <sup>ab</sup>	1584 <sup>a</sup>	6,4 <sup>ab</sup>			
PKL 100	13,9 <sup>d</sup>	156 <sup>abc</sup>	85 <sup>bcd</sup>	1175 <sup>ab</sup>	6,0 <sup>abc</sup>	8,3 <sup>e</sup>	287 <sup>abcd</sup>	88 <sup>ab</sup>	973 <sup>abcd</sup>	5,8 <sup>fghi</sup>	6,5 <sup>f</sup>	185 <sup>abc</sup>	116 <sup>ab</sup>	1547 <sup>a</sup>	6,2 <sup>ab</sup>			
LLJ25	3,4 <sup>ab</sup>	196 <sup>c</sup>	73 <sup>abc</sup>	906 <sup>ab</sup>	5,9 <sup>ab</sup>	3,3 <sup>ab</sup>	441 <sup>g</sup>	100 <sup>abc</sup>	859 <sup>ab</sup>	5,4 <sup>abcd</sup>	2,4 <sup>abc</sup>	338 <sup>bode</sup>	107 <sup>ab</sup>	1559 <sup>a</sup>	6,4 <sup>ab</sup>			
LLJ50	5,1 <sup>abc</sup>	178 <sup>ab</sup>	73 <sup>abc</sup>	1165 <sup>ab</sup>	6,1 <sup>bc</sup>	3,9 <sup>abc</sup>	334 <sup>cdef</sup>	90 <sup>ab</sup>	902 <sup>abc</sup>	5,8 <sup>fghi</sup>	2,8 <sup>bc</sup>	270 <sup>abcd</sup>	95 <sup>ab</sup>	1368 <sup>a</sup>	6,3 <sup>ab</sup>			
LLJ100	9,6 <sup>bcd</sup>	157 <sup>abc</sup>	64 <sup>a</sup>	1223 <sup>b</sup>	6,1 <sup>bc</sup>	5,8 <sup>cd</sup>	292 <sup>bcd</sup>	89 <sup>ab</sup>	1011 <sup>bcd</sup>	5,9 <sup>ghi</sup>	4,8 <sup>e</sup>	230 <sup>abcd</sup>	94 <sup>ab</sup>	1493 <sup>a</sup>	6,4 <sup>ab</sup>			
NTL 25	2,7 <sup>a</sup>	189 <sup>abc</sup>	89 <sup>cd</sup>	1098 <sup>ab</sup>	6,1 <sup>bc</sup>	3,0 <sup>a</sup>	448 <sup>gh</sup>	103 <sup>abc</sup>	818 <sup>a</sup>	5,3 <sup>abcd</sup>	2,5 <sup>abc</sup>	380 <sup>de</sup>	119 <sup>ab</sup>	1509 <sup>a</sup>	6,2 <sup>ab</sup>			
NTL 50	3,3 <sup>a</sup>	159 <sup>abc</sup>	98 <sup>d</sup>	1155 <sup>ab</sup>	6,2 <sup>bc</sup>	3,3 <sup>a</sup>	389 <sup>efg</sup>	107 <sup>bcd</sup>	943 <sup>abcd</sup>	5,7 <sup>efgh</sup>	2,2 <sup>ab</sup>	259 <sup>abcd</sup>	135 <sup>b</sup>	1430 <sup>a</sup>	6,4 <sup>ab</sup>			
NTL 100	5,1 <sup>abc</sup>	164 <sup>abc</sup>	138 <sup>e</sup>	1227 <sup>b</sup>	6,3 <sup>c</sup>	3,9 <sup>abc</sup>	256 <sup>abc</sup>	132 <sup>d</sup>	1113 <sup>d</sup>	6,0 <sup>i</sup>	2,6 <sup>abc</sup>	213 <sup>abcd</sup>	134 <sup>b</sup>	1342 <sup>a</sup>	6,1 <sup>ab</sup>			
SF25	3,0 <sup>a</sup>	180 <sup>abc</sup>	73 <sup>ab</sup>	1136 <sup>ab</sup>	6,0 <sup>ab</sup>	2,8 <sup>a</sup>	432 <sup>g</sup>	97 <sup>abc</sup>	832 <sup>ab</sup>	5,3 <sup>ab</sup>	2,1 <sup>ab</sup>	312 <sup>abcde</sup>	101 <sup>ab</sup>	1486 <sup>a</sup>	6,4 <sup>ab</sup>			
SF50	3,7 <sup>ab</sup>	165 <sup>abc</sup>	73 <sup>ab</sup>	1000 <sup>ab</sup>	5,9 <sup>ab</sup>	3,3 <sup>a</sup>	362 <sup>defg</sup>	81 <sup>a</sup>	881 <sup>abc</sup>	5,5 <sup>bcddef</sup>	2,4 <sup>abc</sup>	252 <sup>abcd</sup>	88 <sup>a</sup>	1521 <sup>a</sup>	6,3 <sup>ab</sup>			
SF100	5,4 <sup>abc</sup>	153 <sup>abc</sup>	73 <sup>abc</sup>	1188 <sup>ab</sup>	5,8 <sup>a</sup>	4,0 <sup>abc</sup>	217 <sup>ab</sup>	90 <sup>ab</sup>	983 <sup>abcd</sup>	5,6 <sup>cdefg</sup>	2,9 <sup>bc</sup>	151 <sup>a</sup>	97 <sup>ab</sup>	1459 <sup>a</sup>	6,1 <sup>ab</sup>			

Koevuodet testattu erillään. Eri kirjaimilla merkityt koejäsenten keskiarvot poikkeavat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (Tukeyn testi, p<0,05).

Liite 32. Pälkäneen osakokeen A kasvustonäytteiden oraiden pituudet näytteenottohetkellä, cm, sekä fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuudet, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2004.

Käsittely	1. näyte			2. näyte			3. näyte
	oras	P	N	oras	P	N	oras
P0N0	10,6	1,3	50,3	36,3	1,4	43,6	54,3
P0N70	11,5	1,4	51,7	37,1	1,5	46,0	55,3
KKL 20+20	11,7	1,6	52,6	38,9	1,5	45,8	58,7
KKL 50+50	11,4	1,9*	54,2*	49,0*	1,8*	47,6	75,8*
PKL 20+20	12,4	1,5	51,9	40,1	1,74	6,2	59,7
PKL 50+50	13,0	2,2*	55,7*	50,9*	1,8*	47,9	68,6*
LLJ 20+20	13,5	1,4	52,5	34,6	1,4	46,3	46,5*
LLJ 50+50	10,8	1,5	54,3*	38,3	1,5	47,9	56,3
NTL 20+20	13,4	2,4*	56,5*	51,0*	1,8*	48,1	75,3*
SF 20+20	17,3*	2,9*	57,8*	60,0*	1,9*	48,0	80,9*
SF 50+50	18,1*	3,7*	60,1*	68,4*	2,5*	51,8*	88,8*
SFV 6	12,3	1,9*	54,0	41,6	1,5	45,7	62,0*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä (p<0,05).

Liite 33. Pälkäneen osakokeen B kasvustonäytteiden oraiden pituudet näytteenottohetkellä, cm, sekä fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuudet, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2004.

Käsittely	1. näyte			2. näyte			3. näyte
	oras	P	N	oras	P	N	oras
P0N0	11,2	1,34	9,8	30,6	1,2	39,8	45,3
P0N70	10,7	1,25	0,0	32,4	1,1	40,1	40,5
KKL 40	12,7	1,7*	51,7	43,2*	1,5*	42,9	58,8*
KKL 100	14,3*	2,4*	55,2*	56,2*	1,9*	46,0*	77,9*
PKL 40	13,0*	1,9*	53,2*	47,5*	1,6*	42,5	67,1*
PKL 100	14,7*	2,9*	56,0*	55,0*	2,1*	47,4*	79,7*
LLJ 40	10,8	1,2	51,8	35,0	1,3	43,2*	48,0
LLJ 100	12,7	1,8*	57,3*	42,0*	1,5*	44,5*	51,3*
SF 40	19,7*	3,1*	57,1*	67,4*	1,9*	45,9*	81,7*
SF 100	20,3*	3,9*	58,1*	68,1*	2,6*	51,3*	89,5*
SFV 6	15,0*	2,0*	52,8*	46,2*	1,5*	43,0	66,6*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä (p<0,05).



Liite 34. Pälkäneen osakokeen C kasvustonäytteiden oraiden pituudet näytteenottohetkellä, cm, sekä fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuudet, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2004

Käsittely	1. näyte			2. näyte			3. näyte
	oras	P	N	oras	P	N	oras
P0N0	12,5	1,6	51,0	38,1	1,3	37,9	55,4
P0N70	12,4	1,4	52,5	39,9	1,1	38,6	55,3
KKL 40	15,4*	1,9*	53,1	52,6*	1,4*	37,9	72,0*
KKL 100	18,4*	2,5*	54,8*	63,5*	1,8*	41,8*	83,2*
PKL 40	16,9*	2,3*	54,6*	58,4*	1,5*	40,4	77,0*
PKL 100	18,9*	2,8*	55,5*	64,5*	2,1*	45,6*	88,3*
LLJ 40	11,6	1,7*	53,3	43,6	1,2	39,2	62,6
LLJ 100	14,5	1,8*	55,3*	49,3	1,3*	39,9	61,0
SF 40	20,8*	3,3*	55,8*	65,5*	1,9*	41,9*	87,0*
SF 100	22,1*	3,7*	55,6*	71,0*	2,5*	44,1*	87,9*
SFV 6	17,0*	1,9*	53,2	53,3*	1,2	38,2	72,7*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä (p<0,05).

Liite 35. Pälkäneen osakokeessa A ohran oraiden pituudet, cm, sekä kasvustonäytteiden fosfori (P)- ja typpi (N)-pitoisuudet, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2006.

Käsittely	1. näyte			2. näyte			3. näyte		
	oras	P	N	oras	P	N	oras	P	N
P0N0	11,5	1,5	48,5*	26,2	2,4	40,5*	40,1*	2,9*	35,2*
P0N70	11,4	1,4	52,7	28,1	2,3	46,3	44,4	2,6	43,6
LLJ 20 + 20	12,0	1,5	54,2	29,7	2,4	50,1	53,6*	2,8	48,7*
LLJ 50 + 50	13,0	1,6*	55,1*	33,6*	2,8*	54,3*	61,2*	3,2*	53,2*
SFV 6	12,0	1,6	51,8	28,7	2,4	51,1	45,0	2,8	43,7
SFV 10	13,2	1,8*	53,2	29,0	3,0*	57,7*	55,8*	2,8	45,2
SFV 30	14,8*	2,4*	56,6*	31,6*	3,3*	58,5*	61,5*	3,2*	48,4*
SFV 75	16,0*	3,2*	60,0*	36,1*	4,0*	57,0*	69,0*	3,5*	47,7*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä.

Liite 36. Jokioisten kenttäkokeesta otettujen kasvustonäytteiden oraiden pituudet, cm, sekä fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuudet, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2005.

Käsittely	1. näyte			2. näyte		
	oras	P	N	oras	P	N
P0N90	32,5	1,9	35,4	37,1	2,5	9,8
KKL 25	37,5	1,9	34,5	48,2	2,6	40,9
KKL 50	36,7	2,0	34,7	41,5	2,4	38,5
KKL 100	38,7*	2,2	36,2	54,5*	2,6	39,2
KKL 200	40,0*	2,6*	32,9	56,9*	2,5	34,9*
PKL 25	34,0	1,8	35,7	40,5	2,4	38,8
PKL 50	37,0	2,1	34,4	42,1	2,6	39,5
PKL 100	36,2	2,2	40,0	58,0*	2,6	38,8
PKL 200	38,8*	2,8*	38,9	62,5*	2,6	38,7
LLJ 25	32,8	2,0	33,5	39,5	2,7	43,9*
LLJ 50	31,0	1,9	36,4	34,3	2,5	44,6*
LLJ 100	35,7	1,9	44,4*	47,3	2,6	45,1*
LLJ 200	33,9	2,1	47,7*	40,0	2,7	49,1*
NTL 10	35,8	2,0	35,5	40,7	2,5	39,4
NTL 25	35,4	1,9	32,2	41,4	2,5	36,0*
NTL 35	35,8	2,1	29,5*	51,0	2,5	36,1*
NTL 50	36,5	2,0	28,1*	44,1	2,4	35,3*
SF 6	36,5	2,2	36,4	45,9	2,4	39,7
SF 25	40,1*	2,5*	38,8	59,0*	2,6	39,5
SF 50	42,5*	2,9*	40,2	61,4*	2,5	37,8
SF 100	38,2*	3,3*	46,2*	66,8*	2,6	38,8
SFV 43	40,0*	2,5*	38,2	62,8*	2,5	38,3

\*Poikkeaa kontrollista (P0N90) tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,05$ ).

Liite 37. Pälkäneen osakokeen A ohrasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapäino (hlp), tuhannen jyvän päino (tjp) ja sadon fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup>, vuonna 2004.

Käsittely	Ohrasato	hlp	tjp	P	N
P0N0	2861	64,8	29,6	2,4	20,6
P0N70	3072	64,5	30,1	2,7	22,3
KKL 20+20	3012	63,5	28,4	2,9	22,0
KKL 50+50	3877	61,6*	27,6	2,6	20,4*
PKL 20+20	3655	63,8	29,4	2,5	21,4
PKL 50+50	4105*	62,2	27,9	2,6	20,1*
LLJ 20+20	2181	63,3	29,1	3,0	23,9
LLJ 50+50	3293	64,6	30,9	3,1	22,6
NTL 10+10	3534	64,1	29,4	2,5	20,1*
NTL 20+20	4370*	63,0	28,3	2,6	20,9
SF 20+20	3825	59,1*	25,1*	2,5	22,8
SF 50+50	4028	56,1*	23,2*	2,8	24,3*
SFV 6	2744	64,6	28,4	2,5	21,3
SFV 10	3857	63,2	29,0	2,3*	21,1
SFV 30	4440*	59,0*	25,5*	2,5	22,9
SFV 75	4018	57,3*	23,9*	2,9	24,3*

\* Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä.

Tilastollisesti merkitsevä satoero ( $p < 0,05$ ) noin 1000 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 38. Pälkäneen osakokeen B ohrasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp) ja sadon fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup>, vuonna 2004.

Käsittely	Ohrasato	hlp	tjp	P	N
P0N0	915	60,2	24,2	2,3	22,6*
P0N70	1067	61,1	25,5	2,5	24,7
KKL 40	1759	59,0	24,3	2,5	21,1*
KKL 100	3134*	57,5	24,1	2,6	19,1*
PKL 40	2609*	57,6	24,1	2,3	19,4*
PKL 100	3289*	56,7*	23,7	2,5	20,8*
LLJ 40	1038	61,6	24,6	2,7	25,0
LLJ 100	2110*	57,3*	24,0	2,7	23,2
NTL 15	2781*	60,7	25,1	2,3	20,0*
NTL 30	3260*	58,1	23,7	2,4	20,7*
SF 40	3286*	55,8*	22,8*	2,1*	22,0*
SF 100	3169*	55,5*	24,1	2,6	23,7
SFV 6	1515	57,6	23,4	2,1*	22,4*
SFV 10	2156*	56,8*	23,0*	1,8*	21,9*
SFV 30	3252*	55,6*	23,1*	2,1*	21,4*
SFV 75	3526*	55,7*	22,4*	2,3	22,2*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä

Tilastollisesti merkitsevä satoero ( $p < 0,05$ ) noin 850 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 39. Pälkäneen osakokeen C ohrasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp) ja sadon fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup>, vuonna 2004.

Käsittely	Ohrasato	hlp	tjp	P	N
P0N0	2166	61,2	26,1	2,2	20,9
P0N70	1752	61,7	24,9	2,2	22,1
KKL 40	2773*	60,5	24,3	2,2	18,8*
KKL 100	3773*	60,7	25,9	2,7*	19,0*
PKL 40	3573*	62,0	26,9	2,5	18,1*
PKL 100	3741*	58,8	25,0	2,7*	20,8
LLJ 40	2538	61,8	26,9	2,3	20,9
LLJ 100	2573	60,1	24,4	2,6*	22,0
NTL 15	3061*	59,5	24,4	2,2	20,0
NTL 30	3885*	62,3	27,9*	2,5*	19,4*
SF 40	3403*	58,4*	24,4	2,4	20,3
SF 100	3824*	59,3	24,5	2,9*	19,9
SFV 6	2197	58,0*	23,7	2,0	21,6
SFV 10	2996*	60,7	25,3	2,0	21,2
SFV 30	3159*	56,5*	23,0	2,2	22,5
SFV 75	3933*	58,1*	23,7	2,8*	22,4

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä

Tilastollisesti merkitsevä satoero ( $p < 0,05$ ) noin 850 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 40. Pälkäneen osakokeen A kaurasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp) ja sadon fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2005.

Käsittely	Kaurasato	hlp	tjp	P	N
P0N0	3319*	50,3*	31,4	3,8*	20,4*
P0N70	4469	48,4	30,8	3,5	22,0
KKL 20+20	4646	49,1	30,3	3,6	22,4
KKL 50+50	4576	49,6	30,5	3,8*	21,2
PKL 20+20	4533	49,4	31,4	3,4	21,6
PKL 50+50	4726	50,1*	31,6	3,9*	21,0*
LLJ 20+20	4405	48,8	31,0	3,5	22,1
LLJ 50+50	4910	49,9*	31,2	3,7	21,2
NTL 10+10	4387	49,0	29,5	3,5	21,7
NTL 20+20	4431	49,2	30,8	3,6	22,2
SF 20+20	4472	47,9	30,4	3,6	21,8
SF 50+50	4599	48,7	31,5	3,8*	21,2
SFV 6	4596	49,7*	30,8	3,5	21,4
SFV 10	4751	50,5*	31,0	3,6	21,3
SFV 30	4678	50,0*	30,6	3,7	20,3*
SFV 75	4639	50,4*	30,3	3,6	20,1*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä

Tilastollisesti merkitsevä satoero ( $p < 0,05$ ) noin 500 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 41. Pälkäneen osakokeen B kaurasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp) ja sadon fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2005.

Käsittely	Kaurasato	hlp	tjp	P	N
P0N0	3300*	48,5	31,3	3,9*	20,8*
P0N70	4549	47,6	31,1	3,5	22,5
KKL 40	4690	48,6	31,8	3,7*	21,9
KKL 100	5276*	49,8*	31,5	4,0*	21,9
PKL 40	4896	49,4*	31,4	3,9*	22,0
PKL 100	5191*	49,0*	31,2	4,0*	22,1
LLJ 40	4649	47,9	30,5	3,6	22,3
LLJ 100	4802	49,5*	31,4	3,8*	22,1
NTL 15	4544	49,0*	31,9	3,8*	21,9
NTL 30	4723	48,3	30,5	3,7	22,8
SF 40	4772	48,9*	31,5	3,8*	22,1
SF 100	5091*	48,7	31,4	3,8*	22,0
SFV 6	4727	49,0*	31,4	3,7*	22,1
SFV 10	4949*	48,8	30,8	3,7	22,6
SFV 30	5226*	49,9*	30,5	3,8*	22,4
SFV 75	5230*	50,7*	30,8	3,9*	21,8

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä

Tilastollisesti merkitsevä satoero ( $p < 0,05$ ) noin 400 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 42. Pälkäneen osakokeen C ohrasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp) ja sadon fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2005.

Käsittely	Ohrasato	hlp	tjp	P	N
P0N0	584	60,5	31,2	4,0*	21,0*
P0N70	520	59,7	31,5	3,5	22,9
KKL 40	403	61,4*	31,6	3,9	20,0*
KKL 100	313	62,9*	31,8	4,1*	19,5*
PKL 40	314	60,7	29,7	4,0*	20,0*
PKL 100	696	63,1*	32,1	4,2*	19,7*
LLJ 40	520	60,8	31,2	3,9*	20,7*
LLJ 100	430	62,2*	31,8	3,9*	19,9*
NTL 15	427	61,0	30,6	4,2*	19,9*
NTL 30	346	61,3*	31,1	3,9*	19,9*
SF 40	702	62,7*	32,8	4,0*	20,5*
SF 100	807	63,4*	34,1*	4,3*	19,0*
SFV 6	654	62,2*	34,1*	4,0*	22,3
SFV 10	1167*	63,0*	34,2*	3,9*	20,9*
SFV 30	2508*	64,5*	36,4*	3,8	19,6*
SFV 75	2753*	64,5*	35,4*	3,7	18,1*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä

Tilastollisesti merkitsevä satoero ( $p < 0,05$ ) noin 500 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 43. Pälkäneen osakokeen A ohrasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp), g, ja ohran fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2006.

Käsittely	Ohrasato	hlp	tjp	P	N
P0N0	2645*	60,7	32,4*	3,4*	17,3*
P0N70	3633	61,8	34,7	2,8	18,3
KKL 20+20	4409*	63,7*	36,2	3,0*	17,8
KKL 50+50	4946*	64,4*	36,5*	3,2*	17,2*
PKL 20+20	4509*	63,7*	35,9	3,0*	17,8
PKL 50+50	4878*	63,9*	36,6*	3,2*	16,9*
LLJ 20+20	4519*	62,7	35,1	2,8	17,9
LLJ 50+50	5354*	64,5*	36,5*	3,0*	18,7
NTL 10+10	4433*	63,9*	36,2	2,9*	17,2*
NTL 20+20	4930*	64,7*	36,8*	3,2*	17,1*
SF 20+20	4415*	63,1	36,6*	2,9*	17,2*
SF 50+50	5210*	64,1*	37,9*	3,0*	16,9*
SFV 6 <sup>§</sup>	3974	62,9	35,5	2,8	17,8
SFV 10	4563*	64,2*	35,8	2,9	16,8*
SFV 30	5300*	64,4*	37,2*	3,1*	16,7*
SFV 75	5723*	65,3*	37,7*	3,3*	16,9*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä. <sup>§</sup>ei saanut fosforilannoitusta vuonna 2006.

Tilastollisesti merkitsevä satoero ( $p < 0,05$ ) noin 400 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 44. Pälkäneen osakokeen B ohrasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp), g, ja ohran fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2006.

Käsittely	Ohrasato	hlp	tjp	P	N
P0N0 <sup>§</sup>	4248	61,9	35,3	3,0	18,1
P0N70 <sup>§</sup>	4117	61,5	36,1	2,8	18,6
KKL 40	4402	62,0	36,1	3,1*	18,0
KKL 100	5015*	64,3*	37,8*	3,2*	17,8*
PKL 40	4478	62,5	36,4	3,1*	18,4
PKL 100	4832*	63,9*	38,0*	3,2*	18,0
LLJ 40	4334	62,7	36,8	3,0	18,1
LLJ 100	4697*	63,0*	36,7	3,0*	17,8*
NTL 15	3963	62,4	35,8	3,0*	18,2
NTL 30	4332	62,7	36,8	3,0	18,3
SF 40	4490	62,9*	36,7	3,1*	18,3
SF 100	4660*	63,5*	36,1	3,2*	17,5*
SFV 6 <sup>£</sup>	4562	62,8*	36,9	3,0	17,8*
SFV 10	4785*	64,0*	37,9*	3,0*	18,1
SFV 30	5314*	64,2*	38,1*	3,1*	17,7*
SFV 75	5910*	65,9*	38,7*	3,3*	17,1*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä (p<0,05). <sup>§</sup>molemmat käsittelyt saivat erehdyksessä 70 kg N ha<sup>-1</sup>. <sup>£</sup>ei saanut fosforilannoitusta vuonna 2006.

Tilastollisesti merkitsevä satoero (p < 0,05) noin 450 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 45. Pälkäneen osakokeen A ohrasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp), g, ja ohran fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2007.

Käsittely	Ohrasato	hlp	tjp	P	N
P0N0	2394	56,4	30,3	3,3*	16,9*
P0N70	2574	55,9	29,8	2,7	18,5
KKL 20+20	3000*	58,1*	30,5	3,2*	18,2
KKL 50+50	3372*	59,9*	32,4*	3,7*	18,4
PKL 20+20	3088*	58,4*	31,2*	3,1*	18,0
PKL 50+50	3345*	59,9*	32,6*	3,7*	18,1
LLJ 20+20	2996*	58,3*	31,8*	3,0*	17,5*
LLJ 50+50	3309*	59,9*	31,5*	3,4*	18,1
NTL 10+10	2964*	57,5*	31,0	3,0*	18,0
NTL 20+20	3233*	58,2*	31,2*	3,2*	18,2
SF 20+20	3296*	58,8*	31,4*	3,3*	18,0
SF 50+50	3433*	60,0*	32,1*	3,6*	18,3
SFV 6	3050*	58,7*	31,7*	3,0*	18,2
SFV 10	3350*	59,4*	31,5*	3,3*	18,1
SFV 30	3696*	60,3*	33,0*	3,8*	18,5
SFV 75	3648*	61,4*	33,7*	4,1*	18,9

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä (p<0,05).

Tilastollisesti merkitsevä satoero (p < 0,05) noin 280 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 46. Pälkäneen osakokeen B ohrasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapäino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp), g, ja ohran fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2007.

Käsittely	Ohrasato	hlp	tjp	P	N
P0N0	2667	60,2*	30,6*	3,6*	17,4*
P0N70	2873	58,7	29,5	2,9	18,4
KKL 40	3255*	60,9*	31,5*	3,3*	17,8*
KKL 100	3319*	61,5*	32,2*	3,7*	18,2
PKL 40	3127	60,4*	30,1	3,3*	18,2
PKL 100	3175*	61,4*	32,3*	3,7*	18,4
LLJ 40	3127	60,2*	30,7*	3,2*	17,5*
LLJ 100	3454*	60,7*	31,4*	3,4*	18,0*
NTL 15	3004	60,2*	31,4*	3,3*	18,2
NTL 30	3242*	60,3*	30,8*	3,2*	17,6*
SF 40	3220*	59,8	29,3	3,3*	18,5
SF 100	3385*	61,3*	31,7*	3,7*	18,2
SFV 6	3261*	60,7*	32,2*	3,4*	18,3
SFV 10	3227*	61,2*	31,6*	3,5*	18,6
SFV 30	3400*	62,1*	32,6*	4,0*	18,8
SFV 75	3627*	62,9*	33,2*	4,3*	19,1*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä (p<0,05).

Tilastollisesti merkitsevä satoero (p < 0,05) noin 280 kg ha<sup>-1</sup>.



Liite 47. Jokioisten kenttäkokeen ohrasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp), g ja ohran fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuus, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2005.

Käsittely	Ohrasato	hlp	tjp	P	N
PON90	4488	63,0	37,0	3,6	19,7
KKL 25	4699	63,6	37,4	4,0	20,3
KKL 50	4878	64,4*	38,0	4,0	19,9
KKL 100	5215*	65,3*	37,9*	4,1*	19,0
KKL 200	5202*	65,2*	39,5*	4,2*	18,9
PKL 25	4546	63,6	37,0	4,0	19,7
PKL 50	5025	64,6*	37,6	4,0	19,9
PKL 100	5237*	64,4*	38,6*	3,9	19,9
PKL 200	5520*	64,9*	39,5*	4,1*	19,5
LLJ 25	5113*	62,8	36,7	3,5	21,1*
LLJ 50	4985	62,7	36,1	3,8	21,5*
LLJ 100	5076*	62,6	36,6	3,9	22,6*
LLJ 200	5279*	62,5	36,4	3,8	23,8*
NTL 10	4740	64,3*	37,2	3,9	19,7
NTL 25	4811	64,7*	37,8	4,1*	18,6*
NTL 35	4455	65,4*	38,3*	4,2*	18,5*
NTL 50	4517	65,1*	38,7*	4,2*	19,2
SF 6	4815	64,3*	37,1	3,9	19,9
SF 25	5180*	65,0*	37,8	3,9	20,0
SF 50	5577*	64,4*	38,0*	3,8	19,9
SF 100	5848*	64,7*	39,4*	3,9	20,0
SFV 43	5362*	64,5*	38,6*	3,8	20,0

\*Poikkeaa kontrollista tilastollisesti merkitsevästi (p<0,05)

Tilastollisesti merkitsevä satoero (p < 0,05) noin 580 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 48. Jokioisten kenttäkokeen kaurasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp), g ja ohran fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuudet, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2006.

Käsittely	sato	hlp	tjp	P	N
P0N90	2737	57,2	30,1	3,4	19,2
KKL 25	2770	57,8	29,8	3,5	19,3
KKL 50	2905	56,9	30,1	3,4	19,6
KKL 100	3076	57,2	29,8	3,5	20,0
KKL 200	2839	57,1	29,4	3,5	19,5
PKL 25	2719	57,2	30,8	3,4	18,8
PKL 50	2905	56,9	30,2	3,4	19,4
PKL 100	2813	57,6	30,5	3,4	20,5
PKL 200	3002	57,2	29,8	3,4	20,5
LLJ 25	2993	56,8	30,7	3,4	19,9
LLJ 50	2608	56,9	29,6	3,2*	20,1
LLJ 100	2887	57,2	29,8	3,2	20,8*
LLJ 200	2754	56,7	30,1	3,4	22,8*
NTL 10	3042	57,1	30,9	3,4	19,8
NTL 25	2706	56,8	30,6	3,4	19,8
NTL 35	2941	57,2	30,2	3,5	19,4
NTL 50	2776	57,2	29,6	3,5	19,3
SF 6	2929	57,2	30,3	3,5	19,9
SF 25	2737	57,1	29,9	3,4	19,9
SF 50	3046	57,5	29,9	3,4	19,6
SF 100	2976	56,8	29,6	3,4	19,5
SFV 35	3129*	57,3	30,1	3,5	19,8

\*Poikkeaa kontrollista tilastollisesti merkitsevästi (p<0,05)

Tilastollisesti merkitsevä satoero (p < 0,05) noin 350 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 49. Jokioisten kenttäkokeen ohrasato, kg ha<sup>-1</sup> (14% kosteus), hehtolitrapaino (hlp), tuhannen jyvän paino (tjp), g, ja ohran fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuudet, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2007.

Käsittely	sato	hlp	tjp	P	N
PON90	4671	67,6	37,9	3,9	17,2
KKL 25	4630	67,7	37,9	4,0	17,0
KKL 50	4795	67,6	38,2	3,9	17,2
KKL 100	4951	67,6	37,5	4,0	17,4
KKL 200	4998	68,1	38,4	4,1*	17,3
PKL 25	4713	67,7	38,0	4,0	16,9
PKL 50	4840	68,2	38,2	3,9	17,4
PKL 100	5015	68,1	38,2	4,1*	17,3
PKL 200	5025	67,6	38,2	3,9	17,7*
LLJ 25	5018	67,2	38,1	4,0	17,4
LLJ 50	4620	68,0	37,6	3,9	17,2
LLJ 100	4780	67,6	38,8	3,9	17,3
LLJ 200	5039	67,6	38,2	4,0	17,4
NTL 10	4842	67,8	38,4	3,9	17,5
NTL 25	5050	67,8	37,8	3,9	17,2
NTL 35	4973	67,9	37,9	4,0	17,6
NTL 50	4794	67,5	38,7	4,0	17,6
SF 6	4928	67,8	37,7	3,9	17,5
SF 25	4729	67,5	37,7	4,0	17,6
SF 50	4921	67,7	37,9	4,0	17,1
SF 100	5013	67,7	37,9	4,0	17,3
SFV 43	5370*	68,0	37,8	4,0	17,2

\*Poikkeaa kontrollista tilastollisesti merkitsevästi (p<0,05)

Tilastollisesti merkitsevä sadonlisä (p < 0,05) noin 430 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 50. Pälkäneen osakokeen C nurmisadot, kg k.a ha<sup>-1</sup>, ja fosfori (P)- ja typ-  
pi (N) -pitoisuudet, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2006.

Käsittely	1. Niitto			2. Niitto			Sadot niitoissa 1 ja 2
	sato	P	N	sato	P	N	
P0N0	2747*	1,3	13,5*	3062*	1,7*	17,2*	5843*
P0N100	3778	1,3	20,5	4995	1,4	20,4	8761
KKL 40	4993*	1,4*	18,5*	5427	1,6	19,8	10483*
KKL 100	4980*	1,7*	17,8*	5587	1,7*	19,2	10617*
PKL 40	4892*	1,5*	19,4	5427	1,6	19,5	10230*
PKL 100	5042*	1,7*	20,5	5201	1,7*	19,1*	10233*
LLJ 40	4404*	1,4*	19,9	5397	1,5	20,0	9847*
LLJ 100	4799*	1,5*	18,7	5836*	1,7*	20,5	10582*
NTL 15	4541*	1,3	20,0	5288	1,5	21,8*	9846*
NTL 30	4724*	1,4*	20,0	5451	1,5	20,7	10177*
SF 40	4568*	1,5*	19,4	5230	1,6*	20,2	9767*
SF 100	4988*	1,6*	18,2*	5672*	1,7*	19,4	10693*
SFV 6	4456*	1,5*	19,9	5296	1,5	20,2	9688*
SFV 10	4678*	1,5*	19,9	5543	1,6*	20,0	10210*
SFV 30	5124*	1,9*	18,8	5748*	1,8*	18,8*	10905*
SFV 75	5072*	2,5*	19,1	5954*	2,2*	17,7*	11020*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70 käsittelystä (p<0,05).

Tilastollisesti merkitsevä sadonlisä ensimmäisessä, toisessa ja yhteenlasketuissa niitossa (p < 0,05) noin 350, 680 ja 750 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 51. Osakokeen C nurmisadot, kg k.a ha<sup>-1</sup>, ja fosfori (P)- ja typpi (N) -pitoisuudet, mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta, vuonna 2007.

Käsittely	1. Niitto			2. Niitto			Sadot niitoissa 1 ja 2
	sato	P	N	sato	P	N	
P0N0	2903*	1,6*	14,8*	2645*	1,9*	18,6*	5521*
P0N100	3577	1,4	26,4	3974	1,5	27,8	7559
KKL 40	4268*	1,6*	25,3	4545*	1,8*	26,4	8781*
KKL 100	4512*	2,0*	25,5	4916*	2,1*	25,8	9461*
PKL 40	4263*	1,7*	25,4	4508	1,7*	26,3	8823*
PKL 100	4843*	2,0*	25,5	4912*	2,0*	25,1*	9743*
LLJ 40	3848	1,6*	25,4	4447	1,7*	25,6*	8268*
LLJ 100	4772*	1,8*	24,9	4835*	1,9*	26,7	9606*
NTL 15	4045*	1,5	24,8*	4466	1,6	27,3	8479*
NTL 30	4165*	1,5	25,3*	4593*	1,6	26,2	8705*
SF 40	4280*	1,6*	25,4	4674*	1,8*	27,3	8983*
SF 100	4574*	1,8*	25,2	5218*	1,9*	24,8*	9791*
SFV 6	4468*	1,8*	27,0	4568*	1,6	26,4	9077*
SFV 10	4546*	1,9*	24,8*	4575*	1,7*	26,4	9132*
SFV 30	4823*	2,7*	26,1	5446*	2,2*	23,0*	10243*
SFV 75	5327*	3,7*	26,5	5031*	2,8*	23,1*	10396*

\*Poikkeaa tilastollisesti P0N70-käsittelystä (p<0,05).

Tilastollisesti merkitsevä sadonlisä ensimmäisessä, toisessa ja yhteenlasketuissa niitossa (p < 0,05) noin 450, 550 ja 700 kg ha<sup>-1</sup>.

Liite 52. Osakokeen A viljauusanalyysien fosfori (P)- ja kalium (K) -pitoisuudet, mg l<sup>-1</sup>, sekä pH

	Syksy 2004												Kevät 2006												Syksy 2007											
	0-10 cm				10-25 cm				0-10 cm				10-25 cm				0-10 cm				10-25 cm				25-40 cm											
	P	K	pH	P	K	pH	P	K	P	K	pH	P	K	pH	P	K	P	K	pH	P	K	pH	P	K	P	K	pH	P	K	pH	P	K				
PON0	1,0	54	5,9	1,0	51	5,4	1,2	66	5,9	1,2	5,5	0,5	77	5,9*	0,6	52	5,5	0,4	5,5	0,6	52	5,5	0,4	37	5,1	5,1	0,4	37	5,1	5,1	0,4	37				
PON70	1,2	56	5,8	1,0	48	5,3	1,2	74	5,8	1,3	5,4	0,8	77	5,7	0,6	50	5,4	0,4	5,4	0,6	50	5,4	0,4	34	5,0	5,0	0,4	34	5,0	5,0	0,4	34				
KKL 20+20	1,4	63	5,9	1,0	51	5,3						1,0	79	5,8	0,6	49	5,4	0,5	5,4	0,6	49	5,4	0,5	33	5,1	5,1	0,5	33	5,1	5,1	0,5	33				
KKL 50+50	2,3*	58	5,8	1,5	50	5,3						1,8	74	5,8	0,8	47	5,4	0,5	5,4	0,8	47	5,4	0,5	35	5,0	5,0	0,5	35	5,0	5,0	0,5	35				
PKL 20+20	1,3	61	5,8	1,1	50	5,4						0,8	71	5,8	0,7	51	5,4	0,4	5,4	0,7	51	5,4	0,4	35	5,1	5,1	0,4	35	5,1	5,1	0,4	35				
PKL 50+50	2,0*	60	5,8	1,1	50	5,4						2,0	73	5,8	0,7	47	5,3	0,4	5,3	0,7	47	5,3	0,4	34	5,0	5,0	0,4	34	5,0	5,0	0,4	34				
LLJ 20+20	1,6	52	5,9	1,0	50	5,4	1,8*	66	6,0	1,2	5,5	1,5	68	5,9*	0,7	46	5,4	0,5	5,4	0,7	46	5,4	0,5	34	5,1	5,1	0,5	34	5,1	5,1	0,5	34				
LLJ 50+50	2,3*	56	5,7	1,0	47	5,4	2,6*	74	5,9	1,5	5,4	1,9	80	5,8	0,8	48	5,4	0,7*	5,4	0,8	48	5,4	0,7*	34	5,1	5,1	0,7*	34	5,1	5,1	0,7*	34				
NTL 10+10	1,2	63	5,8	1,1	50	5,3						1,1	79	5,8	0,6	52	5,4	0,5	5,4	0,6	52	5,4	0,5	35	5,1	5,1	0,5	35	5,1	5,1	0,5	35				
NTL 20+20	1,4	83*	5,8	1,1	51	5,3						0,5	97*	5,9	0,8	57*	5,4	0,4	5,4	0,8	57*	5,4	0,4	36	5,0	5,0	0,4	36	5,0	5,0	0,4	36				
SF 20+20	1,5	57	5,8	1,3	45	5,3						1,0	64	5,7	0,8	44*	5,3	0,4	5,3	0,8	44*	5,3	0,4	29	5,0	5,0	0,4	29	5,0	5,0	0,4	29				
SF 50+50	2,3*	63	5,7	1,3	46	5,3						1,8	68	5,8	1,4*	47	5,4	0,6	5,4	1,4*	47	5,4	0,6	32	5,1	5,1	0,6	32	5,1	5,1	0,6	32				
SFV 6	1,1	54	5,8	1,4	50	5,4	1,3	66	5,9	1,2	5,4	1,4	75	5,8	0,6	47	5,4	0,5	5,4	0,6	47	5,4	0,5	37	5,1	5,1	0,5	37	5,1	5,1	0,5	37				
SFV 10	1,6	58	5,9	1,1	47	5,4	1,5	72	6,0	1,3	5,5	1,6	66	5,8	0,6	45	5,4	0,4	5,4	0,6	45	5,4	0,4	32	5,1	5,1	0,4	32	5,1	5,1	0,4	32				
SFV 30	1,5	58	5,9*	1,1	47	5,4	2,3*	73	6,0	1,5	5,5	5,9*	67	5,6	1,0	44*	5,4	0,5	5,4	1,0	44*	5,4	0,5	36	5,1	5,1	0,5	36	5,1	5,1	0,5	36				
SFV 75	2,9*	57	5,8	1,6*	45	5,3	3,6*	67	6,0	2,7*	5,4	9,2*	74	5,7	1,2*	44*	5,4	0,6*	5,4	1,2*	44*	5,4	0,6*	35	5,1	5,1	0,6*	35	5,1	5,1	0,6*	35				

\*Poikkeaa tilastollisesti PON70 käsittelystä (p<0,05).

Liite 53. Osakokeen B viljavuusanalyyysien fosfori (P)- ja kalium (K) -pitoisuudet, mg l<sup>-1</sup>, sekä pH.

	Syksy 2007															
	Syksy 2004				0-10 cm				10-25 cm				25-40 cm			
	P	K	pH	P	K	pH	P	K	pH	P	K	pH	P	K	pH	
PON0	1,3	66	5,9	1,1	61	5,4	0,9	92	5,9	0,7	54	5,4	0,4	35	5,2	
PON70	1,2	64	5,9	1,1	61	5,5	0,5	77	5,8	0,6	49	5,4	0,4	34	5,2	
KKL40	1,8	70	5,9	1,3	73*	5,5	1,1	69	5,8	0,8	51	5,4	0,5	35	5,1	
KKL100	3,1*	77	5,9	1,4	71	5,5	1,9	82	5,9	0,8	53	5,4	0,4	33	5,1	
PKL40	1,9	71	5,9	1,2	62	5,4	1,0	90	5,9	0,7	51	5,4	0,5	33	5,2	
PKL100	3,7*	73	6,0	1,8*	67	5,5	1,7	85	5,9	0,8	50	5,4	0,4	33	5,2	
LLJ40	2,4*	63	5,9	1,2	63	5,6	1,4	87	5,9	0,8	53	5,4	0,5	35	5,2	
LLJ100	4,0*	64	6,0	1,4	59	5,5	1,8	73	5,9	0,6	47	5,4	0,4	32	5,1	
NTL15	1,8	94*	5,9	1,4	78*	5,5	0,8	91	5,8	0,8	57	5,4	0,8*	37	5,2	
NTL30	1,7	99*	5,9	1,2	73*	5,5	0,9	86	5,8	0,7	53	5,4	0,4	34	5,1*	
SF40	1,9	66	5,9	1,4	58	5,4	0,9	81	5,9	0,8	48	5,4	0,5	34	5,2	
SF100	2,3*	75	5,9	1,5	68	5,4	1,4	76	5,7	1,2*	53	5,5	0,5	35	5,1	
SFV6	1,3	72	6,0	1,7*	70	5,5	1,9	90	5,9	0,9	56	5,5	0,5	36	5,2	
SFV10	1,4	64	6,0	1,1	59	5,5	3,0*	77	5,8	0,8	46	5,5	0,4	32	5,2	
SFV30	1,6	70	6,0	1,3	64	5,5	4,5*	87	5,8	1,0*	53	5,4	0,6	39	5,2	
SFV75	2,2*	67	5,9	1,4	57	5,4	10,4*	77	5,7*	1,2*	49	5,4	0,5	34	5,2	

\*Poikkeaa tilastollisesti PON70 käsittelystä (p<0,05).

Liite 54. Osakokeen C viljavuusanalyysien fosfori (P) ja kalium (K) -pitoisuudet, mg l<sup>-1</sup>, sekä pH.

	Syksy 2004												Syksy 2007											
	0-10 cm				10-25 cm				0-2,5 cm				2,5-10 cm				10-25 cm				25-40 cm			
	P	K	pH	P	P	K	pH	P	P	K	pH	P	P	K	pH	P	P	K	pH	P	P	K	pH	P
PON0	1,3	42	6,0	1,3	41	5,6	1,3	167*	6,2*	1,1	73*	5,9	0,8	45*	5,6	0,4	39	5,3						
PON70/100	1,1	44	6,0	1,2	40	5,6	1,2	94	6,0	0,8	50	6,0	0,7	39	5,6	0,4	32	5,4						
KKL 40	2,4	41	6,0	1,3	40	5,6	1,8	70	6,0	1,9*	48	6,0	0,8	38	5,6	0,4	35	5,3						
KKL 100	5,2*	43	6,0	1,9	39	5,6	5,3*	83	6,0	2,3*	50	6,0	0,8	38	5,6	0,4	31	5,2						
PKL 40	2,7*	44	6,0	2,0	41	5,6	2,1	87	6,0	1,3	52	6,0	0,8	40	5,6	0,4	32	5,3						
PKL 100	4,9*	46	6,0	2,2*	40	5,7	4,4*	82	6,1	2,6*	52	6,0	0,8	40	5,6	0,5	34	5,4						
LLJ 40	2,5	43	6,1	1,6	40	5,6	2,3	98	6,0	2,0*	55	6,0	0,7	37	5,5	0,4	30	5,3						
LLJ 100	6,3*	45	6,0	2,4*	41	5,6	5,8*	73	6,0	3,9*	49	6,0	0,9	38	5,6	0,4	31	5,3						
NTL 15	1,6	46	6,0	1,3	41	5,6	1,5	97	6,1	0,9	50	6,0	0,7	39	5,6	0,3	34	5,2						
NTL 30	2,0	57*	6,0	1,5	44	5,6	1,7	90	6,1	1,2	53	6,0	0,8	40	5,6	0,4	33	5,3						
SF 40	2,2	43	6,0	1,6	40	5,6	1,6	90	6,0	1,2	51	6,1	0,7	38	5,5*	0,5	35	5,4						
SF 100	2,7*	41	6,0	2,4*	38	5,5	1,2	80	6,0	1,7*	49	5,9	0,8	38	5,6	0,4	27	5,3						
SFV 6	1,1	45	6,0	1,3	40	5,6	1,9	92	6,0	0,9	53	6,0	0,8	40	5,6	0,4	27	5,2						
SFV 10	1,9	43	6,1	1,4	44	5,6	2,1	72	6,1	1,2	49	6,0	0,9	37	5,6	0,4	34	5,3						
SFV 30	1,8	45	6,1	1,6	40	5,6	3,0	71	6,1	1,3	49	6,0	1,0*	40	5,6	0,3	38	5,3						
SFV 75	3,2*	43	6,0	2,4*	39	5,6	15,4*	67	6,0	3,2*	48	6,1	1,5*	38	5,6	0,6	32	5,3						

\*Poikkeaa tilastollisesti PON70/100 käsittelystä (p<0,05).



Liite 55. Jokioisten kenttäkokeen viljajuusanalyysin fosfori (P)- ja kalium (K) -pitoisuudet, mg l<sup>-1</sup>, sekä pH.

	Kevät 2006										Syksy 2007														
	0-10 cm					10-25 cm					0-10 cm					10-25 cm					25-40 cm				
	P	K	pH	P	K	P	K	pH	P	K	P	K	pH	P	K	P	K	pH	P	K	P	K	pH	P	K
PON90	1,1	205	6,5	1,0	231	5,9	1,6	256	6,5	0,9	236	6,0	0,7	213	6,4										
KKL 25	1,8	223	6,4	1,2	233	6,0	2,0	260	6,4	1,1	236	5,9	0,6	224	6,4										
KKL 50	3,7*	202	6,5	1,5*	221	6,0	2,9	258	6,5	1,0	235	6,0	0,6	247	6,4										
KKL 100	7,4*	224	6,4	2,1*	247	6,0	3,9*	272	6,5	1,2	257	6,0	0,9	230	6,2										
KKL 200	10,2*	227	6,5	2,3*	241	5,9	8,3*	254	6,4	1,2	248	5,9	0,7	212	6,3										
PKL 25	1,8	221	6,4	1,3	236	5,8	1,2	260	6,4	1,0	240	6,0	0,6	211	6,4										
PKL 50	2,6	214	6,5	1,3	244	5,9	2,9	271	6,6	1,1	249	6,0	0,8	212	6,3										
PKL 100	4,4*	228	6,4	1,9*	257*	5,9	3,5	267	6,5	1,0	253	5,9	0,7	223	6,3										
PKL 200	7,8*	234*	6,4	2,8*	263	5,9	7,2*	290	6,5	1,1	257	5,9	0,8	205	6,2										
LLJ 25	2,0	224	6,5	1,4	256	5,9	1,8	285	6,5	1,0	242	5,9	0,7	201	6,2										
LLJ 50	2,7	210	6,4	1,6*	236	5,8	2,6	251	6,5	1,0	233	6,0	0,5	218	6,6										
LLJ 100	5,3*	208	6,5	2,2*	229	6,1	3,4*	245	6,3	1,1	226	5,9	0,5	218	6,4										
LLJ 200	9,5*	216	6,5	2,4*	240	6,0	6,6*	278	6,5	1,1	225	6,1	0,7	222	6,4										
NTL 10	1,1	220	6,5	1,2	257	5,8	1,5	279	6,5	1,1	263	5,9	0,5	234	6,3										
NTL 25	1,1	225	6,5	1,3	230	6,0	1,4	251	6,5	0,9	224	5,9	0,8	216	6,4										
NTL 35	1,5	241*	6,5	1,5	249	5,9	1,5	276	6,3	1,1	240	5,9	0,7	237	6,3										
NTL 50	1,9	249*	6,3*	1,2	254	5,8	1,7	296*	6,4	1,0	233	5,9	0,7	204	6,4										
SF 6	1,7	222	6,5	1,3	252	6,0	1,5	281	6,5	1,3*	274*	6,0	1,0	227	6,1										
SF 25	1,9	214	6,5	1,2	237	5,8	1,7	270	6,5	1,2	218	5,8*	0,4	181	6,4										
SF 50	1,9	227	6,5	1,3	254	5,9	1,8	268	6,4	0,9	238	6,0	0,6	226	6,4										
SF 100	3,3*	212	6,4	2,0*	241	5,8	2,4	267	6,4	0,9	231	5,9	0,6	224	6,4										
SFV 43/35	1,9	233*	6,5	1,4	259*	5,9	2,7	291	6,4	1,3*	260	5,9	0,9	241	6,2										

\*Poikkeaa tilastollisesti PON90 käsittelystä (p<0,05).

# Peltojen viljavuuden kehitys Pohjanmaan ja Hämeen luomutiloilla

Kari Ylivainio<sup>1)</sup>, Unto Nikunen<sup>2)</sup> ja Eila Turtola<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>2)</sup>MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kasvintuotannon tutkimus, Kannustie 599, 69310 Laitala, etunimi.sukunimi@mtt.fi

## Tiivistelmä

Suomessa oli vuonna 2007 luomuviljelyssä 5,9 % peltoalasta. Luomussa tärkeitä fosforin lähteitä ovat karjanlanta ja maan omat fosforivarat. Kasvinviljelyyn suuntautuneilla luomutiloilla lannan saatavuus saattaa muodostua ongelmaksi erityisesti Etelä-Suomessa, ja fosforin puutos voisi silloin olla yhtenä syynä luomuviljelyn tavanomaista viljelyä heikompaan satotasoon. Luomupeltojen fosforipitoisuuden muutokset ja nykyinen viljavuustaso voivat antaa tietoa siitä, onko luomuviljelyssä puutetta fosforista ja kuinka paljon kotieläintuotannon ylijäämäfosforia luomuviljely voisi hyödyntää tuotostasonsa nostamiseksi.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin kasveille käyttökelpoisen fosforin pitoisuudessa tapahtuneita muutoksia luomuun siirtymisen jälkeen Pohjanmaalla ja Hämeessä sijaitsevilla luomutiloilla. Luomutiloilta otettiin maanäytteet vuosien 2004 ja 2005 aikana niiltä kahdelta peltolohkolta, joiden viljavuusfosfori oli ollut matalin ja korkein luomuviljelyn alussa. Lisäksi viljelijöiltä kysyttiin lohkojen aikaisemmat viljavuustiedot, luomuviljelyn aikana käytetyt lannoitteet, niiden määrät ja satotasot. Pohjanmaalta tutkimukseen osallistui 43 ja Hämeestä 38 tilaa. Suurin osa tiloista oli aloittanut luomuviljelyn vuosina 1990–1995.

Molemmilla alueilla kotieläintilojen osuus tutkituista luomutiloista oli noin 40 %. Pohjanmaalla kotieläintilojen peltolohkoille oli levitetty vuosittain lantaperäistä fosforia keskimäärin 49 kg ha<sup>-1</sup>. Maidontuotantotiloilla fosforin levitysmäärä oli 18 kg ha<sup>-1</sup>. Kasvinviljelytiloilla lantaperäisen fosforin määrä peltohehtaaria kohden oli 6 kg ha<sup>-1</sup>. Hämeessä lantaperäistä fosforia oli levitetty kotieläin- ja kasvinviljelytilojen peltolohkoille keskimäärin 11 ja 7 kg ha<sup>-1</sup>. Pohjanmaalla peltolohkojen keskimääräiset fosforiluvut olivat kasvaneet arvosta 16,7 arvoon 23,0 mg l<sup>-1</sup>. Fosforiluvut kasvoivat kotieläintiloilla ja varsinkin turkiseläinten lantaa saaneilla peltolohkoilla. Hämeessä fosforiluvut olivat sensijaan laskeneet luomuviljelyn aikana arvosta 13,1 arvoon 10,1 mg l<sup>-1</sup>. Tulosten mukaan luomutiloilla ei juurikaan esiintynyt fosforin puutosta vielä runsaan kymmenen vuoden kuluessa viljelyn aloittamisesta, vaikka lantaa käytettiin osalla tiloista vain pieniä määriä. Tämän vuoksi luomupelloilla ei ole lähitulevaisuudessa selvästi keskimääräistä suurempaa potentiaalia toimia ylijäämäfosforin vastaanottajina.

Ohra ja kaura olivat yleisimmin viljeltyt kasvit tutkimukseen osallistuneilla luomutiloilla. Pohjanmaan kotieläintiloilla keskimääräinen viljelijän ilmoittama ohrasato oli 2650 kg ha<sup>-1</sup>, kun se kasvinviljelytiloilla oli hieman alhaisempi, 2370 kg ha<sup>-1</sup>. Kaurasadot olivat vastaavasti 2610 ja 2780 kg ha<sup>-1</sup>. Hämeessä kotieläintuotantoon suuntautuneiden tilojen kaurasadot olivat samalla tasolla kuin Pohjanmaan vastaavat (2670 kg ha<sup>-1</sup>), mutta kasvinviljelyyn suuntautuneilla tiloilla kaurasadot olivat pienempiä, 1950 kg ha<sup>-1</sup>. Kaurasadot olivat lantaa käyttäneillä Hämeen luomutiloilla keskimäärin 2360 ja lantaa käyttämättömillä tiloilla 2030 kg ha<sup>-1</sup>. Näidenkään satoerojen syynä ei kuitenkaan todennäköisesti ollut fosforin vaan typen puute. Pohjanmaan kotieläintiloilla lannassa keskimäärin vuosittain levitetty liukoisen typen määrä oli 34 ja kasvinviljelytiloilla 10 kg ha<sup>-1</sup>. Hämeessä vastaavat määrät olivat 14 ja 8 kg ha<sup>-1</sup>. Tulokset osoittavat, että vaikka luomuviljelyssä ei näyttäisi olevan yleistä puutetta fosforista, lannan vastaanotto voisi parantaa typen saatavuutta ja nostaa huomattavasti satotasoa

---

*Avainsanat: Karjanlanta, kaura, ohra, satotaso, turkiseläinlanta, typpi, viljavuusfosfori*

---

# Development of soil phosphorus status on organic farms

Kari Ylivainio<sup>1)</sup>, Unto Nikunen<sup>2)</sup> ja Eila Turtola<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, 31600 Jokioinen, firstname.lastname@mtt.fi

<sup>2)</sup>MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, Kannustie 599, 69310 Laitala, firstname.lastname@mtt.fi

## Abstract

In Finland, 5.9 % of cultivated area was under organic farming in 2007. Since chemical fertilizers are not used in organic farming, crop phosphorus (P) uptake relies on animal manures and soil P reserves. The crop yields being smaller than in conventional farming, it is possible that organic crops suffer from P deficiency, especially if animal manures are not available as in farms specialized with plant production only. Soil P status indicates the probability of P deficiency and the potential benefits of receiving manure P or other P sources from animal production. In this study we measured soil P status (plant available P, acid ammonium acetate buffer, pH 4.65) at 81 farms, after 10–17 years of organic farming, from two fields at each farm having the lowest and highest P status at the beginning of the organic farming.

The farms had different availabilities for animal manures, due to both their own production lines (animal or plant production) and those of their neighbouring farms. The study farms were situated either in southern Finland (Häme, 38 farms) surrounded by plant production or in western Finland (Pohjanmaa, 43 farms) surrounded by dairy farming and fur production. The soil samples were taken in 2004 and 2005, and the farmers were interviewed for the previous plant analyses, amounts of applied manures and other nutrient sources, and crop yields. Most of the farms had been cultivating with organic principles since 1990–1995.

In both areas, only about 40% of the organic farms had animal production. In Pohjanmaa, P applied on farms with animals was 49 kg ha<sup>-1</sup>, on average, but on dairy farms, 18 kg ha<sup>-1</sup>. However, only 6 kg ha<sup>-1</sup> was applied on organic farms with plant production, respectively. As a result, the average value of plant available P was increased from 16.7 to 23.0 mg l<sup>-1</sup>, and the increase was most notable in fur animal farms. In Häme, organic farms with animals applied 11 kg ha<sup>-1</sup> manure P and farms with plant production 7 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. The lower P application in Häme resulted in decrease in the average values of plant available P, from 13.1 to 10.1 mg l<sup>-1</sup>. The P status of soils was still on a level where P deficiency is not probable and a marked import of excess P from other farms is not needed in the near future.

Spring barley and oats were the most common crops at the study farms. The yield level tended to be slightly higher on farms with animal production than plant production (for barley in Pohjanmaa 2650 vs. 2370 kg ha<sup>-1</sup>, for oats in Häme 2670 vs. 1950 kg ha<sup>-1</sup>). The yields of oats were slightly higher when manure was used at the farm (2360 vs. 2030 kg ha<sup>-1</sup>). However, P supply was not the probable cause for the variable yields but rather the differences in the supply of nitrogen (N). In Pohjanmaa, the amount of soluble N applied annually in animal manures was 34 and 10 kg ha<sup>-1</sup> at farms with or without animal production, respectively, while the respective amounts in Häme were 14 and 8 kg ha<sup>-1</sup>. Therefore, to increase the crop yields, most organic farms would probably benefit from the import of manure, not for P but rather for N supply.

---

*Key words: Animal manure, fur animal, nitrogen, oats, plant available P, soil P status, spring barley, yield*

---

# 1 Johdanto

Fosfori (P) on välttämätön kasvinravinne, jonka saantia lisätään yleisimmin levittämällä joko väkilannoitteita tai kotieläintuotannon sivutuotteena syntyvää lantaa. Luomuviljelyssä ei käytetä väkilannoitteita vaan hyödynnetään lantaa ja maan fosforivaroja. Kun maatalouspolitiikka on johtanut entistä suurempien kotieläinyksiköiden muodostumiseen sekä kotieläintuotannon keskittymiseen mm. Pohjanmaalle ja Varsinais-Suomeen, lannan saatavuus vaihtelee suuresti eri alueiden välillä. Kotieläintuotannon keskittymisalueilla on kuntia, joiden peltopinta-alaa kohden muodostuu useita kymmeniä kiloja lantaperäistä fosforia, mutta lanta liikkuu vain vähän syntysijoiltaan, ja Etelä-Suomessa väkilannoitefosfori on laajoilla alueilla pääasiallinen fosforilähde.

Vuonna 2005 Suomessa oli 4296 luomutilaa, 6,2 % tilojen kokonaismäärästä. Koska karjanlanta on luomussa tärkeä ravinnelähde, kasvintuotantoon erikoistuneiden luomutilojen kannalta on olennaista, sijaitsevatko ne alueella, jossa on saatavilla lantaa. Lypsykarjatalous on keskittynyt Pohjanmaalle ja Itä-Suomeen, kun taas Etelä-Suomessa kotieläintuotannosta syntyy huomattavia määriä lantaa vain muutamissa sian- ja siipikarjantuotantoon erikoistuneissa kunnissa.

Kotieläintaloudessa syntyy lantaperäistä fosforia noin 17 milj. kg vuodessa, josta Suomen peltopinta-alalle levitettyä riittäisi fosforia noin 8 kg ha<sup>-1</sup>. Vuonna 2005 Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan TE-keskusten alueilla muodostui kotieläintuotannossa (poislukien turkiseläintuotanto) lantafosforia 8,2 kg peltöhehtaaria kohden. Vuoden 2006/07 nahkatuotoksen perusteella Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan TE-keskusten alueella syntyi turkiseläintuotannossa lantafosforia 4 kg alueiden peltöhehtaaria kohden. Näistä luvuista voi päätellä, että osalle peltolohkoista levitetään kasvien tarpeen ylittäviä määriä lantaperäistä fosforia, vaikka otettaisiin huomioon turkiseläinlannan sisältämän fosforin heikompi käyttökelpoisuus kasveille (Ylivainio ja Turtola 2009). Pohjanmaalla lannan saatavuus ei siten ole sen käyttöä rajoittava tekijä.

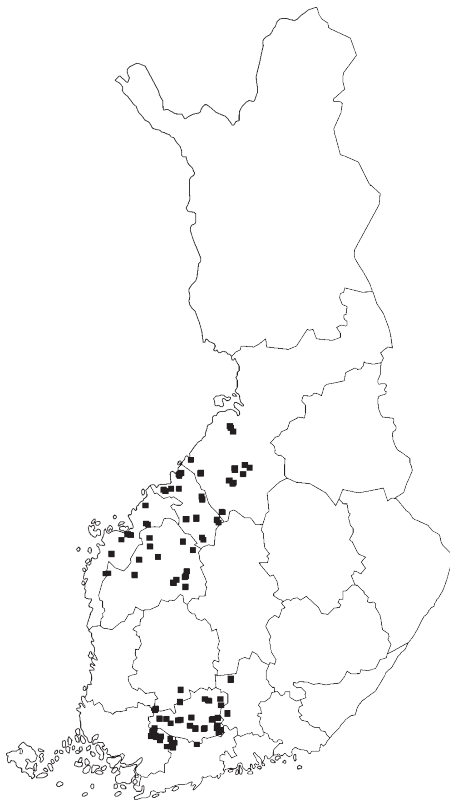
Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää luonnonmukaisesti viljeltyjen maiden viljavuusfosforin pitoisuuksissa tapahtuneita muutoksia kotieläintuotantoon keskittyneellä Pohjanmaalla ja kasvintuotantoon erikoistuneessa Hämeessä. Näillä alueilla kotieläintuotannon intensiteetit ja lannan saatavuus poikkeavat toisistaan, mikä on voinut vaikuttaa luomutilojen viljavuuskehitykseen ja myös niiden nykyiseen tarpeeseen saada käyttöönsä fosforia tilan ulkopuolelta. Samalla arvioitiin fosforin riittävyyden ja toteutuneiden satotasojen välistä yhteyttä.

## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Maanäytteet ja maalajit

Maanäytteet kerättiin luomupelloilta Pohjanmaalla syksyllä 2004 ja Hämeessä syksyllä 2005. Näytteet otettiin kultakin luomutilalta vanhimman viljavuusanalyysitiedon mukaan siten, että ne edustivat alunperin pienimmän ja suurimman viljavuusfosforiluvun peltolohkoja. Tavoitteena oli (1) selvittää kasveille käyttökelpoisen fosforin pitoisuudessa tapahtuneita muutoksia ja (2) pellon fosfori-tilan vaikutusta sadontuottokykyyn. Pohjanmaalla tutkimukseen osallistui 43 ja Hämeessä 38 luomutilaa (Kuva 1). Pohjanmaalla otettiin yhdellä tilalla maanäytteet neljältä peltolohkolta. Viljelijöiltä pyydettiin myös tiedot tutkittavaksi valittujen lohkojen aikaisemmista viljavuusanalyysituloksista, viljelykasveista, satotasoista ja lannoitemääristä.

Peltolohkon maanäyte koostettiin noin kymmenestä osanäytteestä. Ennen maanäytteiden viljavuusanalyysia näytteet kuivattiin (35 °C) ja jauhettiin 2 mm:n seulalla. Viljavuusanalyysissa (hapan ammoniumasettiutto, pH 4,65) määritettiin maiden helpoliukoiset fosfori-, kalium-, magnesium- ja kalsiumpitoi-

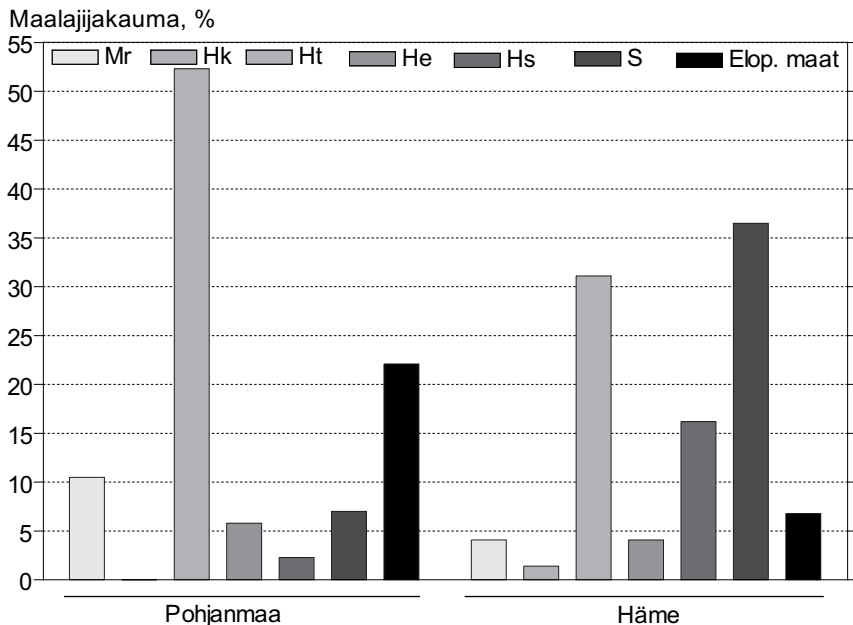


Kuva 1. Tutkimuksen luomupeltolohkojen sijainti Pohjanmaan ja Hämeen alueella. Kartta: Harri Lilja, MTT.

suudet sekä pH (maa-vesisuspensio, 1:2,5). Maalaji ja multavuus määritettiin aistinvaraisesti.

Pohjanmaan TE-keskuksen alueelta saatiin maanäytteet 20 luomutilalta, mikä vastasi vuoden 2004 tilastojen mukaan (Maatilarekisteri) 5,4 % alueen luomutiloista. Sekä Etelä-Pohjanmaan että Pohjois-Pohjanmaan TE-keskuksen alueilta saatiin maanäytteet 12 luomutilalta. Näiden tilojen määrä oli vastaavasti 3,8 % ja 2,5 % kyseisten TE-keskusten luomutilojen määrästä. Hämeen TE-keskuksen alueella maanäytteet otettiin kaikkiaan 25 luomutilalta, mikä vastasi 12,8 % tämän alueen luomutiloista. Lisäksi Somerolta (Varsinais-Suomen TE-keskus) sekä Toijalasta (nykyisin taajama Akaan kaupungissa) ja Valkeakoskelta (Pirkanmaan TE-keskus) saatiin maanäytteet yhteensä 13 luomutilalta.

Pohjanmaan alueen luomutiloilla yleisin maalaji oli hietta (52 % peltolohkoista, Kuva 2), kun taas Hämeessä yleisin maalaji oli savi (36 %). Savimaiden osuus Pohjanmaan peltolohkoista oli noin 7 %. Luomutilojen maalajijakauma vastaa hyvin Viljavuuspalvelu Oy:ssä vuosina 2001–2005 (<http://www.tuloslaari.fi/>) analysoitujen maanäytteiden maalajijakaumaa ProAgria Etelä-Pohjanmaan alueella. Kyseisenä ajanjaksona analysoiduissa maanäytteissä savimaiden osuus oli 7 % ja sitä karkeampien kivennäismaiden osuus 70 %, kun se tässä aineistossa oli 71 %. Eloperäisiä maita oli molemmissa aineistoissa 22–23 %. Hämeen luomumaiden maalajijakauma poikkeaa hieman ProAgria Hämeen alueelta analysoidusta maalajijakaumasta. Tässä aineistossa savimaiden osuus oli 36 %,



Kuva 2. Peltolohkojen maalajijakauma Pohjanmaan ja Hämeen luomutiloilla.



kun se Viljavuuspalvelu Oy:n aineistossa oli 43 %. Sitä karkeampien maalaji-  
en osuus oli Viljavuuspalvelu Oy:n aineistossa 47 % ja tässä aineistossa 57 %.  
Eloperäisten maiden osuudet olivat vastaavasti 9 % ja 7 %.

## 2.2 Luomuviljelyn kesto, viljelykasvit ja satotiedot

Suuri osa luomutiloista oli harjoittanut luomuviljelyä vähintään kymmenen  
vuotta ensimmäisestä maatalouden ympäristötukikaudesta lähtien, kotieläinti-  
lat kuitenkin kasvinviljelytiloja kauemmin ja Pohjanmaan tilat pitempään (kes-  
kimäärin 14 vuotta) kuin Hämeen tilat (11 vuotta). Pohjanmaalla kotieläintilat  
ja kasvinviljelytilat olivat olleet luomussa keskimäärin 17 ja 13 ja Hämeessä  
vastaavasti 13 ja 10 vuotta. Kun valtaosa tutkituista Hämeen luomutiloista oli  
siirtynyt luomuviljelyyn vuoden 1995 aikana tai sen jälkeen, Pohjanmaan alu-  
eella suurin osa tiloista oli aloittanut luomuviljelyn jo vuosien 1990–1994 väli-  
senä aikana. Ennen vuotta 1990 luomuviljelyn aloittaneita tiloja oli Hämeessä  
kaksi ja Pohjanmaalla 11.

Luomutilat jaettiin tuotantosuunnan mukaan kotieläin- ja kasvintuotantotilo-  
ihin (Taulukko 1). Pohjanmaalla kotieläintiloista suurin osa (60 %) tuotti maitoa,  
mutta mukana oli myös naudanlihan- (15 %), sianlihan- (5 %) ja turkistuotan-  
toon (20 %) suuntautuneita tiloja. Kasvintuotantotiloista suurin osa oli viljati-  
loja, mutta mukana oli myös muutama vihannes-, puutarha- ja mansikantuotan-  
toon erikoistunut tila. Hämeessä kotieläintiloista pienempi osuus oli suuntautu-  
nut maidontuotantoon (27 %). Hämeessä oli myös kana- ja lammastiloja, mutta  
ei turkiseläintiloja. Hämeen kasvinviljelytiloista suurin osa oli viljatiloja.

Taulukko 1. Tutkittujen luomutilojen (kpl, suluissa % tiloista) tuotantosuunnat  
Pohjanmaalla ja Hämeessä.

	Pohjanmaa	Häme
Kotieläintilat	20 (47)	15 (39)
Maito	12 (28)	4 (11)
Naudanliha	3 (7)	6 (16)
Sika	1 (2)	2 (5)
Kana		2 (5)
Lammas		1 (3)
Turkiseläin	4 (9)	
Kasvinviljelytilat	23 (53)	23 (61)
Viljanviljely	18 (42)	19 (50)
Vihannestuotanto	1 (2)	3 (8)
Mansikka	2 (5)	
Puutarhatuotanto	2 (5)	1 (3)

Pohjanmaan kotieläintiloilta saatiin yhteensä 410 ja kasvinviljelytiloilta 394 vuoden kasvinviljelytiedot. Kotieläintiloilla yli puolet (58 %) vuosista oli viljelty nurmea ja viljan osuus oli alle kolmannes (29,8 %). Kasvinviljelytiloilla viljan osuus oli luonnollisesti suurempi ja nurmen pienempi kuin kotieläintiloilla (Taulukko 2). Säilörehu/apilanurmen osuus tuotantovuosista oli noin kolmannes molemmissa tuotantosuunnissa, mutta laitumen osuus oli kasvinviljelytiloilla pieni. Kaura ja ohra olivat yleisimmät viljalajit.

Hämeen kotieläintiloilta saatiin 333 ja kasvinviljelytiloilta 412 vuoden kasvinviljelytiedot. Nurmen osuus kotieläintilojen tuotantovuosista oli noin 6 prosenttiyksikköä pienempi kuin Pohjanmaalla mutta kasvinviljelytiloilla nurmen osuus oli 12 prosenttiyksikköä pienempi (Taulukko 2). Viljoista kauran viljelyosuus oli selvästi suurin, se oli jopa neljännes kasvinviljelytilojen tuotantovuosista.

Kasvinviljelytiloilla oli kotieläintiloja enemmän kesantoa sekä Pohjanmaalla että Hämeessä. Pohjanmaan ja Hämeen kasvinviljelytiloilla viherkesannon osuus tuotantovuosista oli 7,6 ja 18,7 %, kun se kotieläintiloilla oli vastaavasti 1,7 ja 2,1 %.

Taulukko 2. Kasvilajien tuotantovuosien osuudet kotieläin- ja kasvinviljelytiloilla Pohjanmaalla ja Hämeessä, %.

Kasvilaji	Kotieläintilat		Kasvinviljelytilat	
	Pohjanmaa	Häme	Pohjanmaa	Häme
Nurmi	58,0	51,7	33,8	21,6
Säilörehu/apilanurmi	33,4	26,7	29,9	9,2
Kuivaheinä	5,6	10,5	1,8	9,5
Laidun	15,4	13,2	1,8	2,2
Vihantarehut <sup>&amp;</sup>	3,2	0,6	0,3	-
Apilan siementuotanto	0,5	0,6	-	0,7
Viljat	29,8	33,9	40,9	38,6
Kaura	11,5	21,9	17,5	24,3
Ohra	13,9	3,3	14,2	4,1
Vehnä	1,7	4,2	1,0	2,4
Ruis	2,7	4,5	8,1	7,8
Seosviljat	2,0	4,2	0,3	0,5
Herne + kaura/ohra	1,0	3,3	2,0	2,2
Rypsi	1,5	0,3	1,8	4,4
Vihannes/puutarhatuotanto <sup>§</sup>	5,4	2,1	7,9	7,8
Muut <sup>#</sup>	-	0,6	1,0	3,6
Kesanto	2,4	3,9	12,4	21,4

<sup>&</sup>vimaa sisältävät kasvustot, vihervilja

<sup>§</sup>peruna, mansikka, herne, kaali, porkkana, sipuli

<sup>#</sup>pellavasiemen, pellava, tattari, spelttivehnä, katovuodet

Pohjanmaalla saatiin vuosittaiset satotiedot yhteensä 31 tilalta (15 kotieläin- ja 16 kasvinviljelytilaa). Ohra ja kaura sisältyivät lähes kaikkien tilojen viljelykiertoon, sillä ohra puuttui vain kuuden tilan (neljä kotieläintilaa ja kaksi kasvinviljelytilaa) ja kaura vain viiden tilan (neljä kotieläintilaa ja yksi kasvinviljelytila) viljelykierrosta. Siten ohran ja kauran sadot antavat luotettavimman kuvan keskisadoista.

Hämeen luomutiloilta saatiin puolestaan vuosittaiset satotiedot yhteensä 35 tilalta (14 kotieläin- ja 21 kasvinviljelytilaa). Kaura oli yleisin viljelykasvi ja vain yhdellä tilalla se puuttui viljelykierrosta. Muiden kasvien satotiedot eivät kattaneet vastaavaa määrää tiloja, eikä satotietojen vertailua voitu tehdä kotieläin- ja kasvinviljelytilojen välillä. Muutamissa tapauksissa laitumien ja vihanneskasvien satotiedot jäivät saamatta.

Satoaineisto jaettiin ensimmäisen viiden vuoden siirtymisjaksoon ja sen jälkeeseen aikaan. Peltokasvien satotulokset muunnettiin rehuyksikkösadoiksi (ry-sato) MTT:n rehutaulukoiden mukaisesti (MTT 2006). Taulukkoon 3 on koottu kasvilajien ry-sadoiksi muuntamiseen käytetyt hehtolitrapainot ja kuiva-ainepitoisuudet. Hernettä sisältävissä kaura/ohra -kasvustoissa herneen osuudeksi sadosta oletettiin 75 % ja kauran/ohran 25 % (Kiljala ym. 2004). Osa säilörehusadoista oli esikuivattu, mutta kaikkien säilörehujen sadot muunnettiin ry-sadoiksi taulukossa 3 ilmoitetuilla arvoilla.

Taulukko 3. Viljelykasvien rehuyksikköinä, ry kg<sup>-1</sup> KA, ja kuiva-ainepitoisuuksina, %, käytetyt arvot (MTT 2006).

Viljelykasvi	ry kg <sup>-1</sup> KA	Kuiva-ainepitoisuus
Ohra	1,13	86
Kaura	1,05	86
Vehnä	1,17	86
Ruis	1,16	86
Seosvilja	1,08	86
Rypsi	1,62	92
Pellavan siemen	1,59	92
Tattarin siemen	0,86	86
Peruna	1,14	22
Porkkana	1,08	12
Herne	1,14	86
Säilörehu/apilanurmi	0,91	25
Kuivaheinä	0,85	83
Virnaa sisältävät kasvustot	0,87	16
Vihantakaura	0,80	18
Laidun	0,96	20

## 2.3 Peltujen viljavuus luomuviljelyn alussa

Vanhimmat löytyneet viljavuustiedot Pohjanmaan ja Hämeen luomupeltolohkoilta olivat keskimäärin 13 vuotta ja 10 vuotta vanhoja, kun taas luomuviljelyn aloitushetkestä oli kulunut vastaavasti keskimäärin 14 ja 11 vuotta. Siten vanhimmat saatavissa olevat viljavuusanalyysit kuvaavat hyvin peltolohkojen viljavuutta luomuviljelyn aloitushetkellä. Luomuviljelyn aloitushetkellä peltolohkojen keskimääräiset fosforiluvut Pohjanmaalla ja Hämeessä olivat 16,7 ja 13,1 mg l<sup>-1</sup>. Savimailla vastaavat fosforiluvut olivat 13,5 ja 12,5 mg l<sup>-1</sup> (viljavuusluokka tyydyttävä/hyvä), karkeammilla kivennäismailla 19,3 ja 15,9 mg l<sup>-1</sup> (viljavuusluokka tyydyttävä/hyvä) ja eloperäisillä mailla 9,7 ja 8,8 mg l<sup>-1</sup> (viljavuusluokka tyydyttävä).

Fosforiluvut olivat luomuviljelyä aloitettaessa suurempia kotieläintiloilla kuin kasvinviljelytiloilla. Niillä Pohjanmaan ja Hämeen kotieläintiloilla, joilta löytyi lannoitushistoria, pienimmän fosforiluvun peltolohkoilla keskimääräiset fosforiluvut olivat alussa 8,1 ja 3,8 mg l<sup>-1</sup>. Suurimman fosforiluvun peltolohkoilla vastaavat arvot olivat 40,3 ja 23,1 mg l<sup>-1</sup>. Vastaavat alkuarvot kasvinviljelytiloilla pienimmän fosforiluvun peltolohkoilla olivat 5,4 ja 4,9 mg l<sup>-1</sup> ja suurimman fosforiluvun peltolohkoilla 15,9 ja 18,7 mg l<sup>-1</sup>.

Peltolohkojen keskimääräinen kaliumluku Pohjanmaalla oli luomuviljelyn aloitushetkellä 121 mg l<sup>-1</sup>. Kotieläintiloilla suurimman fosforiluvun maissa kaliumluvut olivat kaksinkertaiset (172 mg l<sup>-1</sup>) pienimmän fosforiluvun peltolohkoihin verrattuna (83 mg l<sup>-1</sup>). Tähän vaikuttaa suurempi savimaiden ja pienempi eloperäisten maiden osuus suurimman fosforiluvun maissa. Hämeen luomumaa- näytteiden kaliumluvut (196 mg l<sup>-1</sup>) olivat suurempia kuin Pohjanmaan. Myös tähän on todennäköisesti syynä savimaiden suurempi osuus maalajijakaumasta. Hämeessä savimaiden kaliumluku oli viljavuusluokassa tyydyttävä (257 mg l<sup>-1</sup>), karkeammilla kivennäismailla tyydyttävä/hyvä (169 mg l<sup>-1</sup>), ja eloperäisillä mailla välttävä/tyydyttävä (96 mg l<sup>-1</sup>).

Pohjanmaalla peltolohkojen keskimääräinen kalsiumluku oli 1354 mg l<sup>-1</sup>. Savimailla viljavuusluokka oli huononlainen (1285 mg l<sup>-1</sup>), karkeammilla kivennäismailla välttävä (1258 mg l<sup>-1</sup>) ja eloperäisillä mailla tyydyttävä (1678 mg l<sup>-1</sup>). Hämeessä vastaava arvo oli 2132 mg l<sup>-1</sup>. Savimailla viljavuusluokka oli tyydyttävä (2569 mg l<sup>-1</sup>), karkeammilla kivennäismailla tyydyttävä (1809 mg l<sup>-1</sup>) ja eloperäisillä mailla samoin tyydyttävä (2480 mg l<sup>-1</sup>).

Pohjanmaalla keskimääräinen magnesiumluku oli 221 mg l<sup>-1</sup>. Savimailla viljavuusluokka oli tyydyttävä (277 mg l<sup>-1</sup>), karkeammilla kivennäismailla tyydyttävä (193 mg l<sup>-1</sup>) ja eloperäisillä mailla hyvä (306 mg l<sup>-1</sup>). Hämeessä vastaava arvo oli 314 mg l<sup>-1</sup>. Savimailla viljavuusluokka oli korkea (608 mg l<sup>-1</sup>), karkeammilla kivennäismailla tyydyttävä (186 mg l<sup>-1</sup>) ja eloperäisillä mailla hyvä

(264 mg l<sup>-1</sup>). Pohjanmaalla ja Hämeessä peltolohkojen keskimääräiset pH:t olivat 5,9 ja 6,0.

## 2.4 Lannoitus ja lannan käyttö

Pohjanmaan luomutilojen lohko-kohtaiset lannoitushistoriat saatiin 15 kotieläintilalta (75 % kotieläintiloista) ja 16 kasvinviljelytilalta (70 %), ja näistä kaikkiaan 29 ilmoitti käyttäneensä lantaa. Hämeessä lannoitushistoria selvisi 35 tilalta (yhteensä 38 tilaa) ja näistä 25 oli käyttänyt lantaa. Kotieläintiloista (15 kpl) kaikki yhtä lukuunottamatta ilmoittivat lannoitushistoriansa, ja 11 kasvinviljelytilaa (yhteensä 23 kpl) ilmoitti käyttäneensä lantaa. Joillakin tiloilla dokumentoitu lannoitushistoria ei ulottunut luomuviljelyn alkuun asti.

Osalta kotieläintiloista saatiin lannoista analysoidut fosfori- ja liukoisen typen pitoisuudet, mutta yleensä käytettiin karjanlantojen fosfori-, typpi- (liukoinen typpi ja kokonaistyppi) ja kaliumpitoisuuksina Viljavuuspalvelu Oy:ssä vuosina 2000–2004 analysoitujen lantanäytteiden keskiarvoja (Taulukko 4). Taulukossa 5 on esitetty ravinnepitoisuudet muista lannoitteista, joita käytettiin useammalla kuin yhdellä peltolohkolla. Peltolohkoille luomuviljelyn aikana levitettyt lanta- ja lannoitemäärät jaettiin luomuvuosien määrällä ja näin saatiin keskimääräiset pelloille levitettyt ravinnemäärät hehtaaria ja vuotta kohden (Taulukko 6).

Taulukko 4. Viljavuuspalvelu Oy:ssä analysoitujen lantanäytteiden keskimääräiset typen (N), fosforin (P), kaliumin (K) ja liukoisen typen (liuk-N) -pitoisuudet vuosina 2000–2004, kg t<sup>-1</sup> (www.viljavuuspalvelu.fi).

Lantalaji	N	P	K	liuk-N
Naudan kuivikelanta	5,4	1,6	4,7	1,7
Naudan lietelanta	3,0	0,5	3,3	1,8
Naudan virtsa	2,5	0,1	3,7	1,8
Sian kuivikelanta	7,4	4,3	4,8	2,3
Sian lietelanta	3,8	0,8	2,2	2,5
Sian virtsa	2,1	0,1	1,3	1,6
Turkiseläinten kuivikelanta	17,1	18,5	4,0	6,9
Lampaan kuivikelanta	8,7	2,6	12,5	2,2
Kanan kuivikelanta	16,8	8,0	10,1	7,1

Taulukko 5. Eri lannoitusaineiden typen (N), fosforin (P), kaliumin (K) ja liukoisen typen (liuk-N) pitoisuudet, kg t<sup>-1</sup>, joita käytettiin tutkimuksen laskelmissa.

Lannoitusaine	N	P	K	liuk-N
Apatiitti		140		
Bio-apatiitti		20	40	
Biotiitti			50	
Soluneste	3,5	0,45	4,7	2,3
Tuomaskuona		69		
Kuorituhka <sup>§</sup>		10	25,6	
Luu jauho		70		

<sup>§</sup>Tamminen, P. 1998.

Pohjanmaalla naudanolanta oli yleisimmin käytetty lanta (24 tilaa 29:stä). Lisäksi osalla tiloista levitettiin turkiseläin- (7 tilaa) ja sianlantaa (4 tilaa). Myös Hämeessä naudanolanta oli yleisimmin käytetty lanta (64 % lantaa levittäneistä tiloista). Hämeessä naudanolanta oli pääasiassa kuivikelantaa, sillä vain kaksi tilaa ilmoitti käyttävänsä naudnan lietalantaa ja yksi naudnan virtsaa, kun taas Pohjanmaalla naudnan lietalannan käyttö oli yleisempää. Pohjanmaan luomutiloilla ei levitetty kanan-, lampaan- tai hevosenlantaa, kun taas Hämeessä ei käytetty turkiseläinlantaa (Taulukko 6).

Pohjanmaan luomutiloille levitettiin lannassa kokonaisfosforia vuositasolla keskimäärin 27 kg ha<sup>-1</sup>. Kotieläin- ja kasvinviljelytiloilla vuotuiset kokonaisfosforilisäykset olivat 49 ja 6 kg ha<sup>-1</sup> (Taulukko 6). Kotieläintilojen keskiarvoa nostavat turkiseläintilat, joilla keskimääräinen kokonaisfosforilisäys lannassa oli 137 kg ha<sup>-1</sup> vuodessa. Pelkästään maitotiloille laskettu arvo oli 18 kg ha<sup>-1</sup>. Pohjanmaan kotieläintiloilla pienimmän fosforiluvun peltolohkoille levitettiin lantaperäistä kokonaisfosforia vuosittain keskimäärin 53 kg ha<sup>-1</sup> ja suurimman fosforiluvun peltolohkoille 45 kg ha<sup>-1</sup>. Kasvinviljelytiloilla pienimmän ja suurimman fosforiluvun peltolohkolle levitettiin kokonaisfosforia 7 ja 6 kg ha<sup>-1</sup>.

Hämeen luomutilojen peltolohkoille levitettiin lannassa kokonaisfosforia keskimäärin 8 kg ha<sup>-1</sup> vuodessa. Kotieläin- ja kasvinviljelytiloilla vastaavat määrät olivat 11 ja 7 kg ha<sup>-1</sup>. Kotieläintiloilla pienimmän ja suurimman fosforiluvun peltolohkoille levitettiin lantafosforia vuositasolla keskimäärin 12 ja 10 kg ha<sup>-1</sup> ja kasvinviljelytiloilla vastaavasti 7 ja 8 kg ha<sup>-1</sup>.

Pohjanmaan luomutiloilla levitettiin lannassa liukoista tyyppiä vuosittain keskimäärin 21 kg ha<sup>-1</sup> (kokonaistyyppiä 49 kg ha<sup>-1</sup>). Kotieläin- ja kasvinviljelytiloilla vuotuiset liukoisen typen määrät olivat 34 (kokonaistyyppiä 76 kg ha<sup>-1</sup>) ja 10 kg ha<sup>-1</sup> (kokonaistyyppiä 23 kg ha<sup>-1</sup>). Kotieläintiloilla merkittävin liukoisen typen lähde oli turkiseläinlanta, jonka osuus liukoisesta tyypestä oli 44 %. Kas-

Taulukko 6. Pohjanmaan ja Hämeen luomutilojen peltolohkoille keskimäärin levitetyt liukoisen typen (N), kokonaisfosforin (P) ja kaliumin (K) määrät lannassa ja muissa lannoiteaineissa, kg ha<sup>-1</sup>.

Lantalaji	Kotieläintilat						Kasvinviljelytilat					
	Pohjanmaa			Häme			Pohjanmaa			Häme		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Naudan kuivikelanta	6,9	5,5	18,1	8,5	8,1	25,9	3,1	3,1	10,9	3,5	3,3	9,8
Naudan lietelanta	9,0	2,6	16,2	-	-	-	2,7	0,8	5,2	1,3	0,4	2,4
Naudan virtsa	1,4	0,1	3,1	0,4	<0,1	0,8	2,5	0,1	5,1	-	-	0,2
Sian lietelanta	1,5	1,4	0,9	3,0	1,0	2,6	0,6	0,2	0,5	-	-	-
Sian virtsa	-	-	-	0,3	<0,1	0,3	-	-	-	-	-	-
Kananlanta	-	-	-	1,4	1,3	1,9	-	-	-	2,8	3,0	5,3
Lanpaanlanta	-	-	-	0,2	0,2	1,1	-	-	-	-	-	-
Hevosenlanta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,4	1,8
Turkiseläinlanta	14,7	39,4	8,5	-	-	-	0,6	1,7	0,4	-	-	-
<b>Σ Lanta</b>	<b>33,5</b>	<b>48,9</b>	<b>46,9</b>	<b>13,8</b>	<b>10,6</b>	<b>32,6</b>	<b>9,6</b>	<b>6,0</b>	<b>22,1</b>	<b>8,0</b>	<b>7,1</b>	<b>19,6</b>
Apatiitti	-	0,7	-	-	-	-	-	8,7	-	-	-	-
Bio-apatiitti	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1	-	0,2	0,3
Bioitiitti	-	-	0,8	-	-	-	-	-	17,6	-	-	-
Soluneste	-	-	-	-	-	-	2,2	0,4	4,6	-	-	-
Tuomaskuona	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-
Kuorituhrka	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,7	-	0,1	-
Lujajauho	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-	-	0,5	-
<b>Σ Muut</b>	<b>-</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>-</b>	<b>0,7</b>	<b>-</b>	<b>2,2</b>	<b>9,6</b>	<b>22,9</b>	<b>-</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>
<b>Σ Lanta + muut</b>	<b>33,5</b>	<b>49,6</b>	<b>47,7</b>	<b>13,8</b>	<b>11,3</b>	<b>32,6</b>	<b>11,8</b>	<b>15,6</b>	<b>45,0</b>	<b>8,0</b>	<b>7,8</b>	<b>19,9</b>

vinviljelytiloilla puolestaan naudanolannan ja naudnan virtsan osuus liukoisesta tyypeästä oli 86 % (Taulukko 6). Kotieläintiloilla pienimmän fosforiluvun peltolohkoille levitettiin enemmän lantaa kuin korkeamman fosforiluvun lohkoille, mikä johti myös suurempaan liukoisen typen lisäykseen (37 vs 30 kg ha<sup>-1</sup>). Kasvinviljelytiloilla liukoisen typen lisäys lannassa pienimmän ja suurimman fosforiluvun peltolohkoille oli 9 ja 10 kg ha<sup>-1</sup>.

Hämeen luomutiloilla lannassa levitettiin liukoista tyypeä vuosittain keskimäärin 10 kg ha<sup>-1</sup> (kokonaistyypeä 30 kg ha<sup>-1</sup>). Kotieläintiloilla määrä oli hieman suurempi kuin kasvinviljelytiloilla (14 vs. 8 kg ha<sup>-1</sup>). Kotieläintiloilla sekä pienimmän että suurimman fosforiluvun peltolohkoille levitettiin yhtä paljon lantaperäistä liukoista tyypeä (14 kg ha<sup>-1</sup>), ja kasvinviljelytiloilla liukoisen typen levitysmäärät olivat 7 ja 9 kg ha<sup>-1</sup>.

Pohjanmaan ja Hämeen luomutiloilla levitettiin kaliumia lannassa vuosittain 34 ja 25 kg ha<sup>-1</sup>. Pohjanmaan kotieläin- ja kasvinviljelytiloilla kaliummäärät lannassa olivat 47 ja 22 kg ha<sup>-1</sup>. Naudanlanta sisältää paljon kaliumia, ja maidontuotantotiloilla lannassa levitettiin kaliumia keskimäärin 54 kg ha<sup>-1</sup>. Hämeessä kotieläin- ja kasvinviljelytiloilla määrät olivat 33 ja 20 kg ha<sup>-1</sup>. Pohjanmaan kotieläintiloilla kaliumin levitysmäärät pienimmän ja suurimman fosforiluvun peltolohkoilla olivat 53 ja 41 kg ha<sup>-1</sup>. Kasvinviljelytiloilla vastaavat määrät olivat 20 ja 25 kg ha<sup>-1</sup>. Hämeen kotieläintiloilla pienimmän ja suurimman fosforiluvun peltolohkoille levitettiin lannassa kaliumia 33 ja 32 kg ha<sup>-1</sup>. Kasvinviljelytiloilla vastaavat määrät olivat 17 ja 24 kg ha<sup>-1</sup>.

Muusta kuin lannasta peräisin olevat fosforimäärät olivat vähäisiä, ja apatiitti oli näistä fosforilähteistä merkittävin. Näiden lannoitteiden käyttö oli yleisempää Pohjanmaalla (10 tilaa) kuin Hämeessä (2 tilaa). Käytetyt lannoitusaineet olivat apatiitti (92 % käytetystä fosforimäärästä Pohjanmaalla), Bioapatiitti, kuorituhka, tuomaskuona, soluneste ja luujauho (Taulukko 6). Apatiittifosforia levitettiin ainoastaan Pohjanmaan luomutiloilla ja luomukasvinviljelytiloilla se vastasi 62 % luomupelloille levitetystä yhteenlasketusta fosforimäärästä (Taulukko 6). Ne Pohjanmaan luomutilat, jotka käyttivät lannoitteena muuta kuin lantaa, saivat fosforia 18,2 kg ha<sup>-1</sup>, josta apatiitin osuus oli 92 %. Muissa lannoitusaineissa levitettiin fosforia keskimäärin 2,2 kg ha<sup>-1</sup>.

Muista lannoiteaineista ainoastaan soluneste sisälsi tyypeä, mutta sen käyttö rajoittui kolmeen kasvinviljelytilaan Pohjanmaalla. Näillä tiloilla solunesteessä levitettiin vuositasolla liukoista tyypeä 14,3 kg ha<sup>-1</sup>. Perunan solunesteen kokonaistyypeästä kaksi kolmasosaa voi olla väkilannoitetypen veroista (Kangas 2003).

Luomuviljelyssä käytetään hyväksi ilmakehän tyypeä sitovia palkokasveja, kuten apilaa. Kasvinviljelytiloilla viherlannoitus olikin yleisempää kuin kotieläin-



tiloilla. Hämeen kasvinviljelytiloilla viherlannoituksen osuus tuotantovuosista oli 18,7 % kun se Pohjanmaalla oli 7,6 %. Pohjanmaan ja Hämeen kotieläintiloilla viherlannoituksen osuudet tuotantovuosista olivat 1,7 ja 2,1 %.

Kaliumpitoisista lannoitusaineista merkittävin oli biotiitti, jota käytettiin Pohjanmaalla seitsemällä tilalla. Keskimääräinen kaliumin lisäys biotiitissä vuotta kohden oli 65 kg ha<sup>-1</sup>. Keskiarvoa nosti yhden tilan huomattavasti suuremmat käyttömäärät (194 kg K ha<sup>-1</sup>).

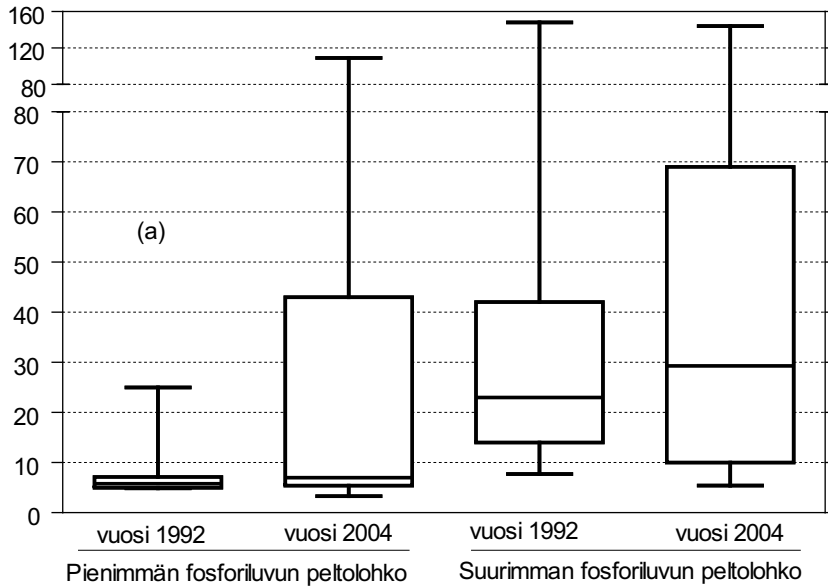
## 3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

### 3.1 Luomumaiden viljavuuden kehitys

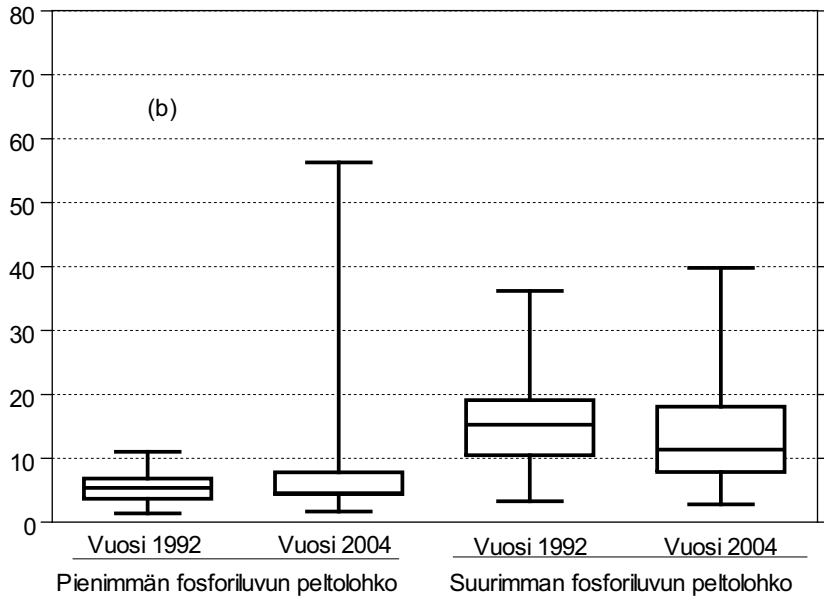
Kun fosforilukujen keskiarvo oli tutkimukseen valituilla Pohjanmaan peltolohkoilla luomuviljelyn alussa 16,7 mg l<sup>-1</sup>, se oli kasvanut vuoteen 2004 mennessä arvoon 23,0 mg l<sup>-1</sup>. Fosforilukujen kasvua selittää muutamilla peltolohkoilla tapahtunut huomattava muutos, sillä mediaani oli kasvanut keskiarvoa vähemmän (arvosta 9,8 arvoon 10,8 mg l<sup>-1</sup>) (Kuva 3). Tästä eteenpäin käsitellään vain niiden peltolohkojen viljavuusfosforiluvun kehitystä, joista oli saatavilla sekä sato- että lannoitushistoria. Viljavuusfosforilukujen keskiarvo oli näillä tiloilla sama kuin koko aineistossa, sillä se oli 16,8 mg l<sup>-1</sup> ensimmäisessä tilastoidussa maa-analyysissä (keskimäärin vuonna 1992) ja 22,7 mg l<sup>-1</sup> syksyllä 2004 otetuissa maanäytteissä.

Pohjanmaan luomukotieläintiloilla peltolohkojen fosforilukujen keskiarvo oli kasvanut keskimäärin 13 vuodessa arvosta 24,2 arvoon 36,8 mg l<sup>-1</sup>. Keskiarvoa nostivat varsinkin turkiseläintilat, kun taas maitotiloilla kasvu oli vähäisempää (13,3 vs. 16,6 mg l<sup>-1</sup>). Luomuviljelyn aloitushetkestä vuoteen 2004 mennessä tapahtuneen fosforilukujen kasvun syynä oli pienimmän fosforiluvun peltolohkoilla muutamien peltolohkojen tulokset (Kuva 3). Kotieläintiloilla kohosivat etenkin niiden peltojen fosforiluvut, jotka olivat olleet alunperin matalampia (keskimäärin arvosta 8,1 arvoon 25,0 mg l<sup>-1</sup>). Vastaavasti alunperin suurimman fosforiluvun peltolohkot kasvattivat fosforipitoisuuttaan vähemmän. (40,3 vs. 48,6 mg l<sup>-1</sup>). Molemmissa tapauksissa keskiarvoa kasvatti turkiseläinlannan käyttö. Kontrolloiduissa kasvatuskokeissa ketunlannan on osoitettu nostavan viljavuusuuuista fosforipitoisuutta enemmän kuin vastaava fosforimäärä väkilannoitetta tai naudan turvelantaa (Ylivainio ja Turtola 2009). Syynä tähän on todennäköisesti happaman viljavuusuuuoliuoksen (pH 4,65) uuttama luupohjainen fosfori, joka ei ole välittömästi kasveille käyttökelpoisessa muodossa, mutta joka kasvukauden edetessä ja viimeistään lisäystä seuraavina vuosina muuntuu kasveille paremmin käyttökelpoiseen muotoon happamissa maissa. Pohjanmaan kasvinviljelytiloilla fosforiluvut laskivat hieman suurimman fos-

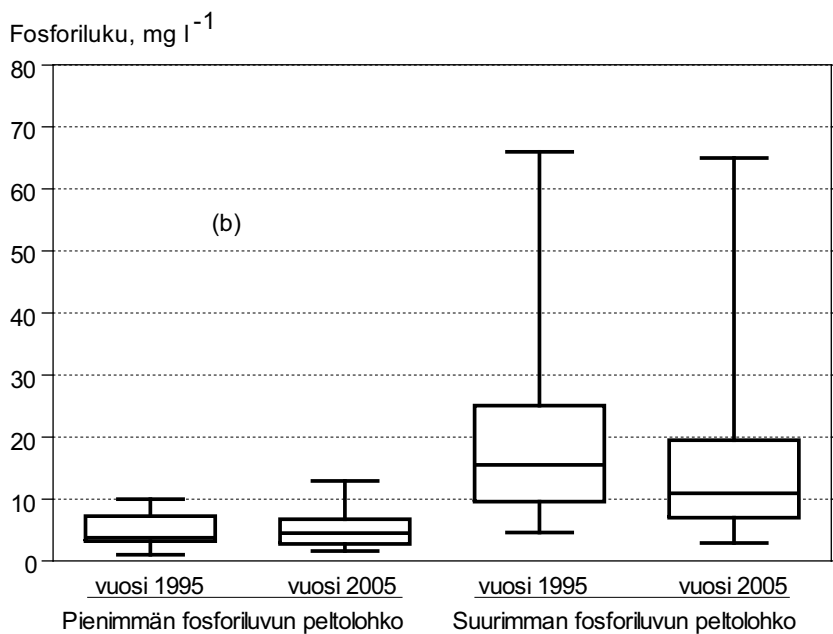
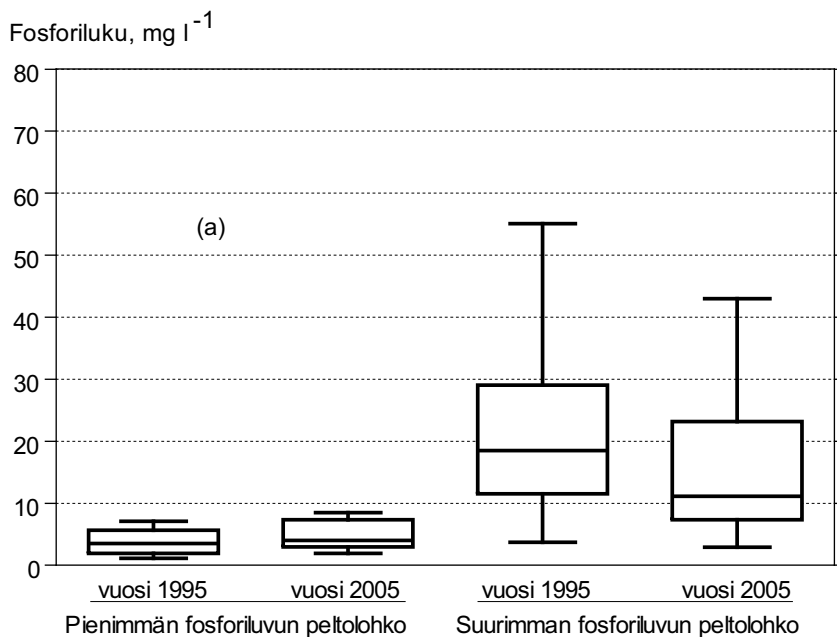
Fosforiluku, mg l<sup>-1</sup>



Fosforiluku, mg l<sup>-1</sup>



Kuva 3. Pohjanmaan kotieläin- (a) ja kasvinviljelytilojen (b) peltolohkojen fosforiluvut pienimmän ja suurimman fosforiluvun peltolohkoilla Box and Whiskers -kuvaajalla ilmaistuna. Laatikon ala- ja yläreuna osoittavat Q<sub>25</sub> ja Q<sub>75</sub> -fraktiilit ja laatikon katkaiseva viiva mediaanin. Janojen päät osoittavat minimin ja maksimin.



Kuva 4. Hämeen kotieläin- (a) ja kasvinviljelytilojen (b) peltolohkojen fosforiluvut pienimmän ja suurimman fosforiluvun peltolohkoilla Box and Whiskers -kuvaajalla ilmaistuna. Laatikon ala- ja yläreuna osoittavat Q<sub>25</sub> ja Q<sub>75</sub> -fraktiilit ja laatikon katkaiseva viiva mediaanin. Janojen päät osoittavat minimin ja maksimin.

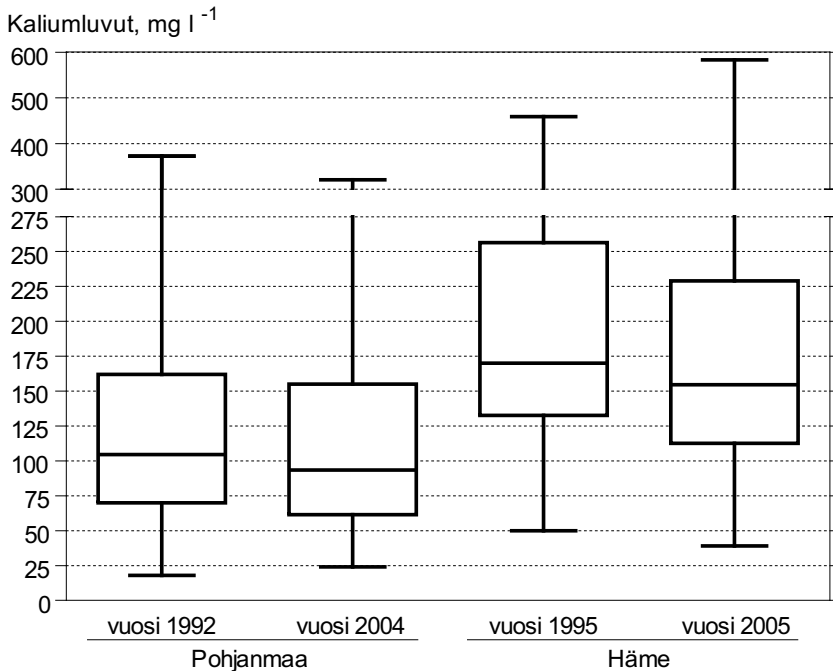
foriluvun peltolohkoilla (15,9 vs 13,7 mg l<sup>-1</sup>), mutta kasvoivat pienimmän fosforilun peltolohkoilla (5,4 vs 8,6 mg l<sup>-1</sup>).

Niillä Hämeen luomutiloilla, joilta saatiin selville lannoitushistoria (35 tilaa 38:sta), luomupeltojen keskimääräinen fosforiluku oli 13,1 mg l<sup>-1</sup> ensimmäisessä saatavilla olevassa maa-analysissä, kun se oli 10,1 mg l<sup>-1</sup> vuonna 2005, keskimäärin 10 vuoden kuluttua. Pienimmän fosforiluvun peltolohkoilla fosforiluvut olivat pysyneet lähes samalla tasolla sekä kotieläintuotantoon (3,7 vs. 4,8 mg l<sup>-1</sup>) että kasvinviljelyyn (5,1 vs. 5,2 mg l<sup>-1</sup>) suuntautuneilla luomutiloilla, mutta suurimman fosforiluvun peltolohkojen kohdalla ne olivat laskeneet luomun aikana sekä kotieläintiloilla (22,4 vs. 14,7 mg l<sup>-1</sup>) että kasvinviljelytiloilla (21,4 vs. 15,9 mg l<sup>-1</sup>) (Kuva 4). Hämeessä lantaa käytävillä tiloilla peltolohkojen fosforiluvut olivat laskeneet vähemmän (arvosta 12,7 mg l<sup>-1</sup> arvoon 11,0 mg l<sup>-1</sup>) kuin niiden tilojen peltolohkoilla, joille ei levitetty lantaa (arvosta 13,8 mg l<sup>-1</sup> arvoon 8,2 mg l<sup>-1</sup>).

Pohjanmaalla luomupeltolohkojen keskimääräinen kaliumluku oli laskenut vanhimmasta saatavilla olevasta tuloksesta 121 mg l<sup>-1</sup> arvoon 114 mg l<sup>-1</sup> vuonna 2004 (Kuva 5). Viljavuuspalvelu Oy:n tilastojen mukaan kaliumluvut ovat hieman pienempiä kuin ProAgria Etelä-Pohjanmaan keskiarvo vuosilta 2001–2005 otetuissa maanäytteissä (125 mg l<sup>-1</sup>). Hämeessä luomupeltojen kaliumluvut olivat laskeneet luomuviljelyn aikana sekä kotieläin- että kasvinviljelytiloilla ja ne olivat kotieläintiloilla (150 mg l<sup>-1</sup>) hieman pienempiä kuin kasvinviljelytiloilla (188 mg l<sup>-1</sup>). Viljavuuspalvelu Oy:n ProAgria Hämeen keskiarvo vuosilta 2001–2005 otetuissa maanäytteissä oli 184 mg l<sup>-1</sup>. Maalajeittain tarkasteltuna ainoastaan Pohjanmaan eloperäisillä mailla kaliumluvut eivät olleet laskeneet luomuviljelyn aikana (84 vs. 99 mg l<sup>-1</sup>).

Pohjanmaalla peltolohkojen kalsiumluvut olivat kohonneet luomuviljelyn aikana (1354 vs. 1784 mg l<sup>-1</sup>). Savimailla ja karkeilla kivennäismailla viljavuusluokka oli noussut yhdellä ja oli vuonna 2004 välttävä tai tyydyttävä. Eloperäisillä mailla viljavuusluokka oli pysynyt luokassa tyydyttävä. Hämeessä kalsiumluvut olivat pysyneet samalla tasolla luomuviljelyn aikana (noin 2100 mg l<sup>-1</sup>). Maalajeittain viljavuusluokka oli pysynyt samana karkeilla kivennäismailla (tyydyttävä) ja noussut yhden viljavuusluokan savimailla (luokkaan hyvä) ja eloperäisillä mailla (luokkaan hyvä).

Peltolohkojen magnesiumluvut olivat hieman kohonneet Pohjanmaalla (221 vs. 258 mg l<sup>-1</sup>), mutta pysyneet Hämeessä ennallaan (345 vs. 333 mg l<sup>-1</sup>). Pohjanmaalla maalajeittain tarkasteltuna viljavuusluokka oli pysynyt ennallaan savimailla (tyydyttävä) ja noussut yhden viljavuusluokan karkeilla kivennäismailla (hyvä) ja eloperäisillä mailla (korkea). Hämeessä savimaiden magnesiumluvut olivat laskeneet hieman (608 vs. 581 mg l<sup>-1</sup>) ja vastasivat nyt viljavuusluokkaa hyvä. Karkeammilla kivennäismailla ja eloperäisillä mailla viljavuusluokat oli-



Kuva 5. Luomupeltolohkojen kaliumluvut Pohjanmaan ja Hämeen luomutiloilla Box and Whiskers –kuvaajalla ilmaistuna. Laatikon ala- ja yläreuna osoittavat  $Q_{25}$  ja  $Q_{75}$  -fraktiilit ja laatikon katkaiseva viiva mediaanin. Janojen päät osoittavat minimin ja maksimin.

vat pysyneet ennallaan (tyyydyttävä ja hyvä). Magnesium- ja kalsiumtasot pystytään ylläpitämään riittävän korkealla kalkitsemalla. Myös lihaluujauhon käyttö turkiseläinten rehussa nostaa lannan kalsiumpitoisuutta, mikä mahdollisesti kasvatti peltolohkojen kalsiumlukuja turkiseläntiloilla (1454 vs. 1913 mg l<sup>-1</sup>).

Pohjanmaalla ja Hämeessä peltolohkojen keskimääräinen pH oli 6,1, ja se oli hieman kohonnut luomuviljelyn aloitushetkestä (Pohjanmaalla 5,9 ja Hämeessä 6,0).

### 3.2 Satotaso

Kaikkien kasvien keskimääräiset sadot olivat hieman korkeampia Pohjanmaalla kuin Hämeessä (Taulukko 7). Pohjanmaan kotieläin- ja kasvinviljelytiloilla ohrasadot olivat keskimäärin 2650 (57 kasvukautta) ja 2370 kg ha<sup>-1</sup> (56 kasvukautta). Hämeen kotieläntiloilla kurasadot (2670 kg ha<sup>-1</sup>, 73:n kasvukauden keskisato) olivat samalla tasolla kuin Pohjanmaalla (2610 kg ha<sup>-1</sup>, 47:n kasvu-

Taulukko 7. Viljelykasvien keskisadot Pohjanmaan ja Hämeen luomutiloilla, kg ha<sup>-1</sup>. Suluissa oleva luku kertoo kuinka monen tuotantovuoden sadoista keskiarvo koostuu.

Viljelykasvi	Pohjanmaa	Häme
Ohra	2510 (113)	1740 (28)
Kaura	2710 (116)	2250 (173)
Syysruis	2180 (42)	1670 (39)
Kevätvehnä	2320 (11)	1910 (18)
Kevättrypsi	1120 (13)	590 (18)
Tuorerehu <sup>§</sup>	12140 (255)	12100 (127)
Kuivaheinä	4350 (30)	3770 (74)

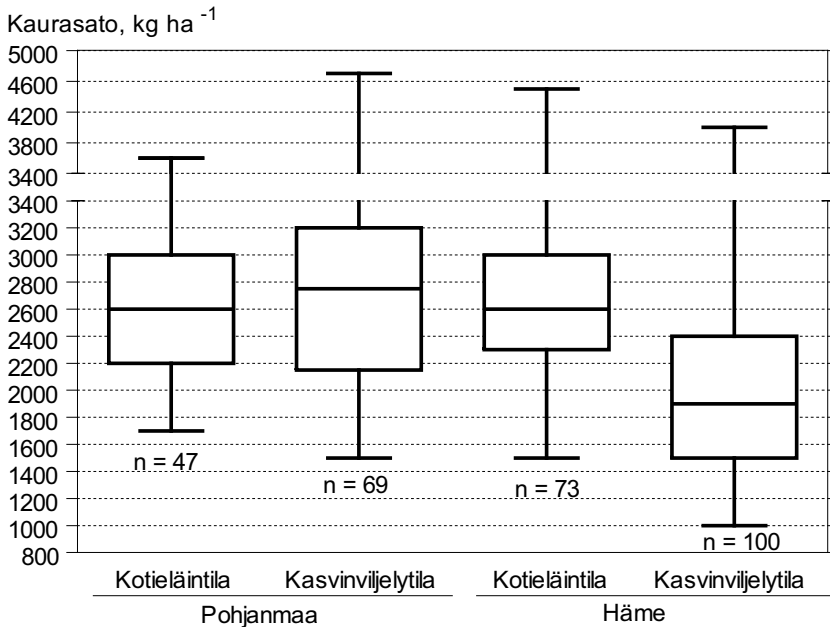
<sup>§</sup>säilörehunurmi, apilanurmi, esikuivattu säilörehu

kauden keskisato) mutta kasvinviljelytiloilla kauran keskisato oli vain 1950 kg ha<sup>-1</sup> (100:n kasvukauden keskisato, Kuva 6).

Hämeessä kauran keskisadot olivat samalla tasolla viitenä ensimmäisenä luomuvuotena ja sen jälkeen sekä kotieläintiloilla (2640 vs. 2690 kg ha<sup>-1</sup>) että kasvinviljelytiloilla (1950 vs. 1910 kg ha<sup>-1</sup>). Pohjanmaan kotieläintiloilla ohran keskisato oli lähes samalla tasolla viitenä ensimmäisenä luomuvuotena ja sen jälkeisellä ajanjaksolla fosforiluvultaan pienimmällä peltolohkolla (2520 vs. 2490 kg ha<sup>-1</sup>). Sen sijaan suuremman fosforiluvun peltolohkoilla ohrasadot olivat hie- man suurempia viisi vuotta luomuun siirtymisen jälkeisellä ajanjaksolla (2700 vs. 2870 kg ha<sup>-1</sup>). Kasvinviljelytiloilla ohran keskisadot olivat yllättävästi hie- man suurempia fosforiluvultaan pienimmällä kuin suurimmalla peltolohkolla viitenä ensimmäisenä luomuvuotena (2530 vs. 2290 kg ha<sup>-1</sup>), mutta siitä eteen- päin tilanne oli vastakkainen (2230 vs. 2440 kg ha<sup>-1</sup>). Ohran keskisadot fosfori- luvultaan erilaisilla lohkoilla laskettiin 10–16 kasvukauden satotuloksista.

Pohjanmaan ja Hämeen kotieläin- ja kasvinviljelytiloilla kauran keskisadot olivat jatkuvasti suurempia fosforiluvultaan korkeammilla peltolohkoilla. Poh- janmaan kotieläintiloilla viisi vuotta luomuun siirtymisen jälkeen kaurasadot olivat fosforiluvultaan pienimmällä ja suurimmalla peltolohkolla 2490 ja 2720 kg ha<sup>-1</sup>. Pohjanmaan kasvinviljelytiloilla kaurasadot olivat yhtä suuria koti- eläintilojen kanssa pienimmän fosforiluvun peltolohkoilla, mutta suurimman fosforiluvun lohkoilla sadot olivat kasvinviljelytiloilla noin 3000 kg ha<sup>-1</sup>. Kas- vinviljelytilojen keskiarvoa nostaa yhden tilan keskisato, joka neljän vuoden aikana oli 4600 kg ha<sup>-1</sup>. Tilan viljelykierrossa oli apilasäilörehunurmea 2–3 vuoden ajan ennen kauraa.

Kun peltolohkot jaettiin viljavuusluokkiin huono/huononlainen, välttävä ja tyy- dyttävä tai sitä parempi laskemalla vanhimman ja tässä tutkimuksessa määrite- tyn fosforiluvun keskiarvo, voitiin tarkastella peltolohkojen sadontuottokykyä



Kuva 6. Kauran keskisadot Pohjanmaan ja Hämeen kotieläin- ja kasvinviljelytiloilla Box and Whiskers -kuvaajalla ilmaistuna. Laatikon ala- ja yläreuna osoittavat  $Q_{25}$  ja  $Q_{75}$  -fraktiilit ja laatikon katkaiseva viiva mediaanin. Janojen päät osoittavat minimin ja maksimin. n = tuotantovuosien lukumäärä.

viljavuusluokittain (Taulukko 8). Pidemmälle menevää jakoa fosforiluokkiin ei katsottu aiheelliseksi, sillä savi- ja hiesumailla fosforin viljavuusluokka välttävää/tydyttävä on riittävä tuottamaan 95 % maksimisadosta, kun maan pH on optimissa (Saarela ym. 2006). Lisäksi kauralle riittää sama fosforiluku hieman happamemmassakin maassa (Saarela ym. 2006).

Pohjanmaan luomutiloilla fosforiluokan paraneminen ei lisännyt ohrasatoa, mutta kaurasato kasvoi hieman (Taulukko 8). Hämeen luomutiloilla peltolohkojen fosforiluokalla ei ollut vaikutusta ohran tai kauran keskisatoihin (Taulukko 8). Sekä Pohjanmaalla että Hämeessä lantaperäistä fosforia levitettiin vähiten viljavuusluokkaan huono/huononlainen kuuluville luomupelloille (8,1 ja 6,7 kg ha<sup>-1</sup>) ja eniten viljavuusluokkaan tyydyttävä tai sitä paremmille peltolohkoille (41,7 ja 10,6 kg ha<sup>-1</sup>). Jos turkiseläintilat jätetään huomiotta, Pohjanmaalla levitettiin lantafosforia 14,4 kg ha<sup>-1</sup> niille peltolohkoille, joiden viljavuusfosforiluokka oli vähintään tyydyttävä.

Lannassa lisätyt liukoisen typen määrät olivat pieniä: Pohjanmaalla viljavuusluokkiin huono/huononlainen, välttävä ja tyydyttävä tai sitä korkeampiin viljavuusluokkiin levitettiin lannassa liukoista typpeä 12,6, 14,5 ja 26,8 kg ha<sup>-1</sup> (il-

man turkiseläintiloja 18,2 kg ha<sup>-1</sup>). Hämeen luomutiloilla vastaavat määrät olivat 7,6, 10,2 ja 13,5 kg ha<sup>-1</sup>. Pohjanmaan luomutilojen hieman suuremmat kaurasadot korkeammassa viljavuusluokissa saattoivat olla osittain seurausta hie-  
man korkeammasta liukoisen typen lisäyksestä alempiin viljavuusluokkiin ver-  
rattuna.

Taulukko 8. Pohjanmaan ja Hämeen luomutilojen kaura- ja ohrasadot fosforin viljavuusluokkien mukaan jaoteltuna, kg ha<sup>-1</sup>. Suluissa oleva luku kertoo kuinka monen kasvukauden satotuloksista keskiarvo koostuu.

Kasvilaji		
Viljavuusluokka	Pohjanmaa	Häme
Ohra		
Huono/huononlainen	2620 (16)	1730 (3)
Välttävä	2370 (35)	1810 (10)
Tyydyttävä tai korkeampi	2560 (62)	1690 (15)
Kaura		
Huono/huononlainen	2720 (19)	2220 (47)
Välttävä	2610 (39)	2230 (50)
Tyydyttävä tai korkeampi	2780 (58)	2290 (76)

Alemmissä fosforiluokissa saatiin suurempi kaurasato kotieläin- kuin kasvinviljelytiloilla. Hämeen kotieläintiloilla viljavuusluokkiin huono/huononlainen kuuluvien peltolohkojen kaurasadot olivat 2540 (28 kasvukautta), kun ne olivat kasvinviljelytiloilla 1750 kg ha<sup>-1</sup> (19 kasvukautta). Pohjanmaalla vastaavien peltolohkojen kaurasadot olivat 2780 (viisi kasvukautta) ja 2700 kg ha<sup>-1</sup> (14 kasvukautta). Niillä Pohjanmaan ja Hämeen kasvinviljelytilojen viljavuusluokkaan huono/huononlainen kuuluvilla peltolohkoilla, joille ei levitetty lantaa, kaurasadot olivat 2600 (kaksi kasvukautta) ja 1770 kg ha<sup>-1</sup> (12 kasvukautta). Molempia Pohjanmaan kauravuosia edelsi kaksi viherlannoitusvuotta. Todennäköisesti ohra- ja kaurasatoihin vaikutti enemmän liukoisen typen lisäys lannassa ja solunesteessä (Taulukko 9) kuin maan fosforiluokka, ja typen puute rajoitti kasvua alemmissäkin fosforiluokissa huomattavasti enemmän kuin fosforin puute.

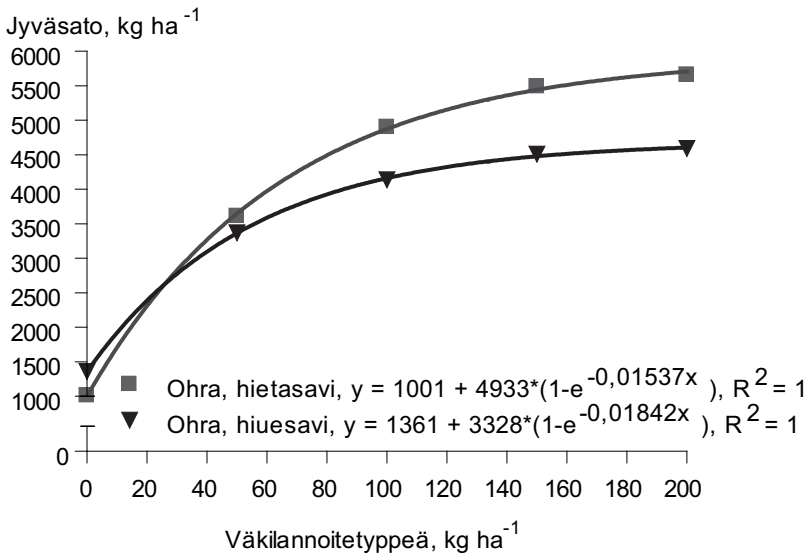
Hämeen kasvinviljelytiloilla viherkesannon osuus kasvukausista oli keskimäärin 18,7 %. Niillä kasvinviljelytiloilla, joilla viherkesannon osuus kasvukausista oli vähintään 20 %, kaurasadot olivat hieman suurempia (2010 kg ha<sup>-1</sup>) kuin kasvinviljelytiloilla keskimäärin (1950 kg ha<sup>-1</sup>). Puna-apilaa sisältävän nurmen muokkaamisen on arvoitu vapauttavan tyyppiä noin 50–70 kg ha<sup>-1</sup> (Nykänen 2008), mutta em. tutkimuksessa puna-apilanurmen lopettaminen ei antanut typpivastetta viljoille. Känkäsen ym. (1999) tutkimuksessa puna-apilan typpilannoitusvaikutus oli 40 kg edellyttäen, että puna-apilakasvusto oli kunnollinen. Puna-apilan osuus nurmessa pitäisikin olla yli 40 %, jotta sillä olisi typpilannoitusvaikutusta seuraavalle viljasadolle (Nykänen 2008).



Taulukko 9. Pohjanmaan ja Hämeen luomutilojen ohra- ja kaurasadot, kg ha<sup>-1</sup>, suhteessa lannassa ja solunesteessä annettuun liukoisen typen määrään (liuk-N). Suluissa oleva luku kertoo kasvukausien lukumäärän.

	Pohjanmaa	Häme
<b>Ohra</b>		
0 kg liuk-N ha <sup>-1</sup>	2180 (18)	1200 (8)
0,1 – 20 kg liuk-N ha <sup>-1</sup>	2500 (46)	2130 (12)
> 20 kg liuk-N ha <sup>-1</sup>	2640 (49)	1700 (7)
<b>Kaura</b>		
0 kg liuk-N ha <sup>-1</sup>	2470 (21)	1990 (54)
0,1 – 20 kg liuk-N ha <sup>-1</sup>	2950 (55)	2350 (89)
> 20 kg liuk-N ha <sup>-1</sup>	2520 (40)	2330 (27)

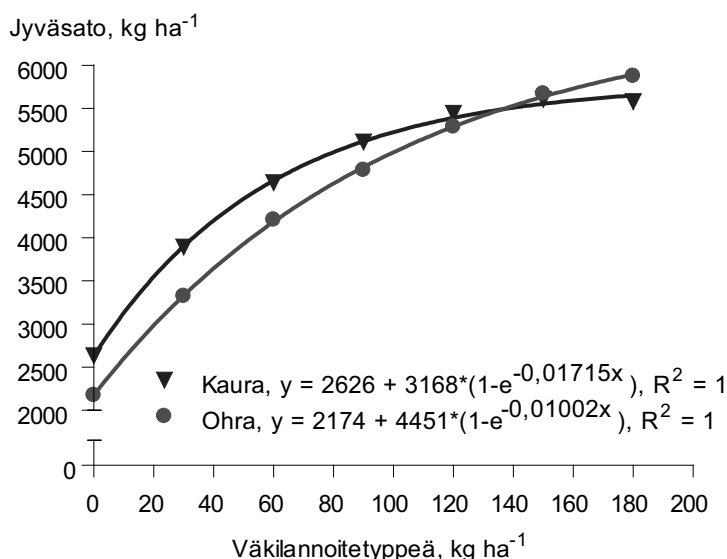
Jos jyväsato on 2500 kg ha<sup>-1</sup> (kosteus 14 %), jyvien mukana poistuu typpeä noin 43 kg ha<sup>-1</sup> (jyvien typpitoisuus 20 mg g<sup>-1</sup> kuiva-ainetta). Kuvissa 7 ja 8 on typpi-porraskokeiden satovasteita. Tämän selvityksen ohra- ja kaurasadot olivat lähes samalla tasolla kuin kenttäkokeissa saadut sadot vastaavilla liukoisen typen lisäyksillä. Kun Esalan ja Larpesin (1984) tutkimuksessa ohrasato oli ilman typpilannoitusta noin 1200 kg ha<sup>-1</sup>, se oli Hämeen kasvinviljelytiloilla ilman lannan käyttöä 1260 kg ha<sup>-1</sup> ja lantaa käytettäessä 2190 kg ha<sup>-1</sup>. Viimemainituilla luomutiloilla liukoisen typen lisäys lannassa oli keskimäärin 16 kg ha<sup>-1</sup>. Kuvan 7 satofunktion mukaan ohrasato vastaavalla väkilannoitetyypen määrällä on



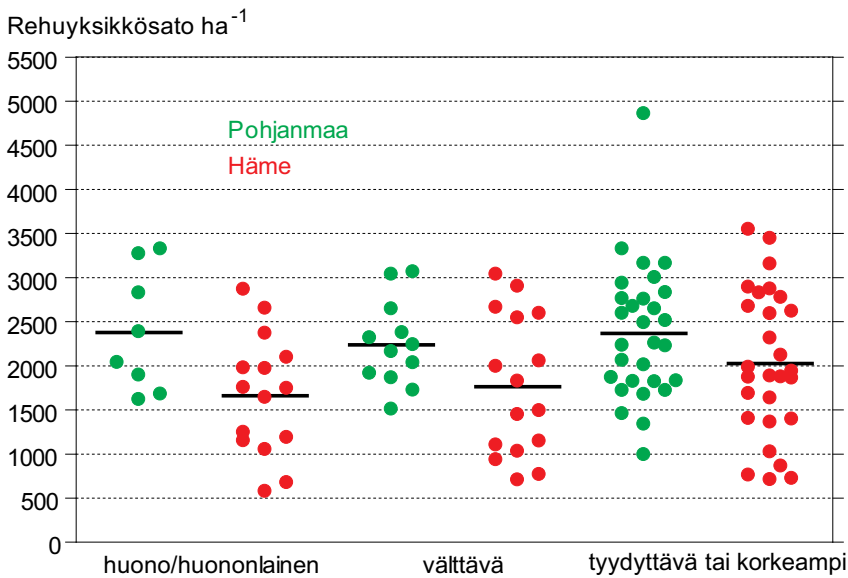
Kuva 7. Väkilannoitetyypen vaikutus ohran sadontuottoon savimaalla 12 vuoden aikana 1969-1980 (Esala ja Larpes 1984).

noin 2100 kg ha<sup>-1</sup>. Pietolan ym. (1999) kenttäkokeen satofunktiosta laskettu ohrasato oli ilman typpilannoitusta edellisiä korkeampi, noin 2600 kg ha<sup>-1</sup> (Kuva 8). Hämeen kotieläintiloilla kaurasadot olivat noin 2670 kg ha<sup>-1</sup> ja lannasta peräisin oleva liukoisen typen määrä noin 14 kg ha<sup>-1</sup>. Vastaavalla liukoisen typen määrällä kauran sadoksi kuvan 8 satofunktion perusteella saadaan noin 3300 kg ha<sup>-1</sup>. Pohjanmaan korkeammat satotasot voivat olla seurausta eloperäisten maiden suuremmasta osuudesta, jolloin orgaanisen aineksen mineralisaatio vapauttaa kasveille käyttökelpoista typpeä.

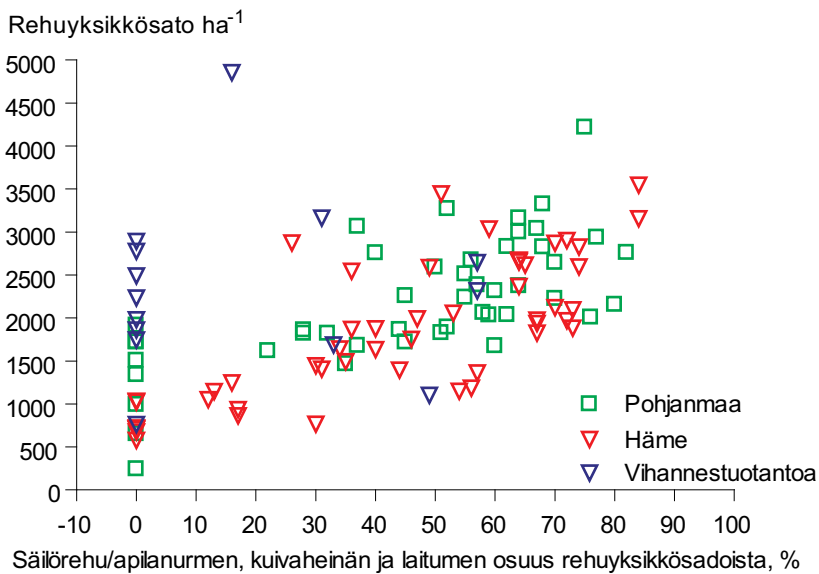
Pohjanmaalla viljavuusluokassa huono/huononlainen, välttävä ja tyydyttävä ja sitä korkeammissa viljavuusluokissa keskimääräinen vuosittainen rehuyksikkösato koko luomuviljelyn aikana oli 2380, 2240 ja 2370 ry ha<sup>-1</sup> (Kuva 9). Hämeen luomutiloilla vastaavat sadot olivat 1660, 1760 ja 2030 ry ha<sup>-1</sup>. Satoerot johtuvat todennäköisesti vähintään yhtä paljon typen kuin fosforin saatavuudesta. Pohjanmaalla nurmen osuus viljelykierrosta oli suurempi kuin Hämeessä. Kuvassa 10 on esitetty nurmen osuuden vaikutus ry-satoihin. Koska nurmi on tehokas fosforin hyväksikäyttäjä ja lisäksi apilanurmi pystyy sitomaan ilmakehän typpeä, nurmivaltaisissa viljelykierroissa maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus vaikuttaa vähemmän satoon kuin enemmän viljaa sisältävässä viljelykierrossa.



Kuva 8. Typpilannoituksen satovaste 1990-luvulla suoritetuissa kenttäkokeissa savimaalla (Pietola ym. 1999).



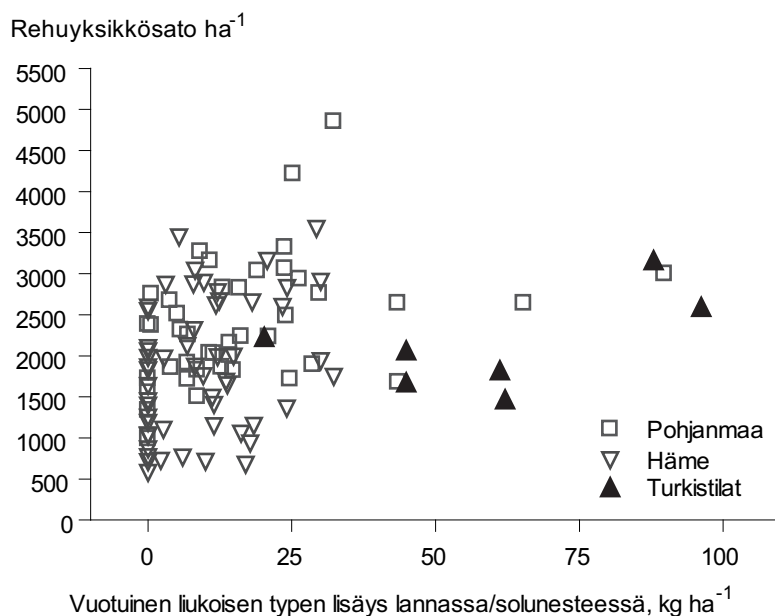
Kuva 9. Viljavuusfosforiluokan vaikutus vuotuiseseen rehuyksikkösatoon Pohjanmaan ja Hämeen luomutiloilla.



Kuva 10. Nurmen osuuden vaikutus Pohjanmaan ja Hämeen luomutiloilla saavutettuihin keskimääräisiin ry-satoihin.

Rehuyksikkösadot niillä Pohjanmaan tiloilla, jotka eivät käyttäneet lantaa, olivat 1700 ry ha<sup>-1</sup>. Kun lannassa levitettiin liukoista typpeä joko alle tai yli 20 kg ha<sup>-1</sup>, sadot olivat vastaavasti 2220 ja 2710 ry ha<sup>-1</sup>. Hämeessä ry-sadot olivat samalla tavoin liukoisen typen saatavuuden suhteen ryhmiteltyinä 1260, 2170 ja 2350 ry ha<sup>-1</sup>. Kuvassa 11 on esitetty tuotantovuosille jaetun liukoisen typen vaikutus keskimääräisiin ry-satoihin. Kaiken kaikkiaan kasvinravinteista typen puute onkin todennäköisesti merkittävin satoa alentava tekijä luonnonmukaisessa viljelyssä. Tämä havaittiin esimerkiksi ruotsalaisessa 18 vuotta kestäneessä kenttäkokeessa (Kirchmann ym. 2007).

Viljasadon mukana poistuu kaliumia keskimäärin 11 kg ha<sup>-1</sup> (2500 hehtaarisadolla ja 5 g K kg<sup>-1</sup> kuiva-ainetta) ja säilörehunurmen mukana 75 kg ha<sup>-1</sup> (sato 12000 kg ha<sup>-1</sup>, kuiva-ainepitoisuus 25 % ja kaliumpitoisuus 25 g kg<sup>-1</sup> kuiva-ainetta). Viljavuusanalyysi osoitti, että luomupeltojen kaliumluvut olivat laskeutuneet luomuviljelyn aikana. Pohjanmaalla myös maan luontainen kaliumpitoisuus on pienempi Hämeeseen verrattuna, koska savimaiden osuus on pienempi. Kaliumista saattaakin tulla pidemmällä aikavälillä kasvien kasvua rajoittava tekijä, varsinkin nurmea sisältävissä viljelykierroissa.



Kuva 11. Vuosittaisen liukoisen typen lisäyksen ja rehuyksikkösadon välinen yhteys Pohjanmaan ja Hämeen luomutiloilla.

## 4 Yhteenveto

Tutkimuksessa selvitettiin Pohjanmaan ja Hämeen luomumaiden viljavuudessa (viljavuusuttainen fosfori, kalium, kalsium ja magnesium) tapahtuneita muutoksia luomuviljelyn aikana. Tarkoituksena oli arvioida, voidaanko luomuviljelyn satotasoa kohottaa kotieläintalouden ylijäämäfosforin avulla. Pohjanmaalla tutkimukseen osallistui 43 ja Hämeessä 38 tilaa. Jokaiselta maatilalta otettiin maanäytteet kahdelta lohkolta, joiden fosforiluku oli ollut luomuviljelyn alkajalla pienin ja suurin tilan kaikkien peltolohkojen fosforiluvuista. Lisäksi viljelijöiltä kysyttiin luomuviljelyn aikana saadut satotasot sekä käytetyt lannoitusmäärät. Kotieläintilat olivat olleet luomussa muutaman vuoden kauemmin kuin kasvinviljelytilat: Pohjanmaalla luomuviljely oli kestänyt kotieläintiloilla 17 ja kasvinviljelytiloilla 13 vuotta, Hämeessä puolestaan 13 ja 10 vuotta.

Pohjanmaan tutkittujen luomupeltojen fosforiluvut olivat kasvaneet luomuviljelyn aloitushetken arvosta 16,7 arvoon 23,0 mg l<sup>-1</sup>, kun taas Hämeessä fosforiluvut olivat laskeneet arvosta 13,1 arvoon 10,9 mg l<sup>-1</sup>. Pohjanmaalla viljavuusfosforin muutos oli seurausta muutaman peltolohkon kohonneista arvoista. Pohjanmaan ja Hämeen kotieläintiloilla levitettiin lannassa kokonaisfosforia keskimäärin 49 ja 11 kg ha<sup>-1</sup>. Pohjanmaan määrää kasvattivat turkiseläintilat (137 kg ha<sup>-1</sup>), sillä maitotiloilla fosforia käytettiin keskimäärin 18 kg ha<sup>-1</sup>. Pohjanmaan ja Hämeen kasvinviljelytiloilla lannassa levitettiin yhtä paljon kokonaisfosforia (6 ja 7 kg ha<sup>-1</sup>). Lannassa levitettiin luonnollisesti myös enemmän liukoista tyyppiä kotieläintiloilla (eniten Pohjanmaan kotieläintiloilla 34 kg ha<sup>-1</sup>) kuin kasvinviljelytiloilla (alle 10 kg ha<sup>-1</sup>).

Kaura ja ohra kattoivat tuotantovuosista 25–30 %. Pohjanmaan kotieläin- ja kasvinviljelytiloilla kaurasadot olivat keskimäärin 2610 ja 2780 kg ha<sup>-1</sup>. Hämeessä vastaavat sadot olivat 2670 ja 1950 kg ha<sup>-1</sup>. Fosforin viljavuusluokkien mukaan jaoteltuna (huono/huonolainen, välttävä ja tyydyttävä tai sitä korkeampi) Pohjanmaan kaurasadot olivat 2720, 2610 ja 2780 kg ha<sup>-1</sup> ja Hämeessä vastaavasti 2220, 2230, 2290 kg ha<sup>-1</sup>. Liukoisen typpisisäyksen (0, < 20 ja > 20 kg ha<sup>-1</sup>) perusteella jaoteltuna Pohjanmaan luomutilojen kaurasadot olivat 2470, 2950 ja 2520 kg ha<sup>-1</sup> ja Hämeessä vastaavasti 2030, 2340, 2330 kg ha<sup>-1</sup>. Pohjanmaalla vastaavat ohrasadot olivat 2180, 2500 ja 2640 kg ha<sup>-1</sup> ja Hämeessä 1260, 2130 ja 1700 kg ha<sup>-1</sup>.

Tulokset osoittivat, että typen saatavuus rajoitti sadon määrää todennäköisesti enemmän kuin fosforin saatavuus. Hämeessä luomumaiden helppoliukoinen fosforipitoisuus oli laskenut luomuviljelyn aikana, ja tulevaisuudessa fosforin puute voi alkaa rajoittaa sadonmuodostusta. Pohjanmaalla intensiivinen kotieläintalous on turvannut fosforin saannin, mutta helppoliukoisesta kaliumista voi tulevaisuudessa tulla puute sellaisilla kasvinviljelytiloilla, joiden viljelykiertoihin sisältyy korjattavia nurmia. Luomupellot eivät tämän selvityksen

perusteella näyttäisi hyötyvän juurikaan muita peltoja enempää kotieläintalouden ylijäämäfosforista, mutta lannan tai lihaluujauhon sisältämä typpi voisi nostaa satotasojä.

## 5 Kirjallisuus

- Esala, M. ja Larpes, G. 1984. Kevätviljojen sijoituslannoitus savimailla. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 2/84: 35 s.
- Kangas, A. 2003. Soluneste lannoitteena. Kokeet 2001–2003. Suomen tärkkelysperunahanke. Raportti solunestekokeista.
- Kiljala, J., Iso-lahti, M. ja Huuskonen, A. 2004. Herne täydenää viljaa seoskasvustossa. Koetoiminta ja käytäntö 61, 1 (15.3.2004): 11.
- Kirchmann, H., Bergström, L., Kätterer, T., Mattsson, L. ja Gesslein, S. 2007. Comparison of long-term organic and conventional crop-livestock systems on a previously nutrient-depleted soil in Sweden. *Agronomy Journal* 99: 960–972.
- Känkänen, H., Kangas, A., Mela, T., Nikunen, U., Tuuri, H. ja Vuorinen, M. 1999. The effect of incorporation time of different crops on the residual effect on spring cereals. *Agricultural and Food Science in Finland* 8: 285–298.
- Nykänen, A. 2008. Nitrogen dynamics of organic farming in a crop rotation based on red clover (*Trifolium pratense*) leys. Tampereen Yliopistopaino: MTT Agrifood Research Finland. ISBN 978-952-487-169-3.
- MTT 2006. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset 2006. Märehtijät – siat - siipikarja – turkiseläimet – hevoset. MTT:n selvityksiä 106.
- Pietola, L., Tanni, R. ja Elonen, P. 1999. Response of yield and N use of spring sown crops to N fertilization, with special reference to the use of plant growth regulators. *Agricultural and Food Science in Finland* 8: 423–440.
- Saarela, I., Salo, Y. ja Vuorinen, M. 2006. Effects of repeated phosphorus fertilisation on field crops in Finland 1. Yield responses on clay and loam soils relation to soil test P values. *Agricultural and Food Science* 15: 106–123.
- Tamminen, P. 1998. Typpi- ja tuhkalannoitus punalätikan vaivaamassa männikössä. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 3: 411–420.
- Ylivainio, K. ja Turtola, E. 2008. Kotieläintalouden ylijäämäfosfori kasvintuotannossa. *Maa- ja elintarviketalous* 138. Jokioinen: MTT. 242 s.

# Kotieläintalouden ravinnekierron ympäristotaloudellinen optimointi – aluemalli maidon- ja viljantuotantoon erikoistuneille tiloille

Janne Helin

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410  
Helsinki, etunimi.sukunimi@mtt.fi

## Tiivistelmä

EU:n vesipuitedirektiivin toimeenpano ja Suomen vesien suojelun suuntaviivat edellyttävät maatalouden vesistökuormituksen vähentämistä. Kustannustehokkaan ratkaisun löytämiseksi tarvitaan yksityiskohtaista tietoa vähennyskeinoista ja bioekonominen malli, jolla linkittää keinojen vaikutukset yhteen. Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu maidon- ja kasvintuotantoon erikoistuneiden tilojen ravinnekuormituksen vähentämistä. Epälineaarista matemaattista ohjelmointia hyödyntäen yhdistettiin taloudellisia ja biologisia prosesseja ja laskettiin kuormituksen vähentämisen kustannukset Kalajoen osavalmu-alueelle. Tulosten perusteella ruokinnalla on merkittävä vaikutus tilan fosforitaseeseen. Taloudellisen tuloksen maksimoimiseksi lehmien maitotuotosta ei mallin mukaan kannata muuttaa optimitasosta ravinnekuormituksen vähentämiseksi, vaan vähennystoimet kannattaa kohdistaa typen osalta lannoitukseen ja fosforin osalta maan muokkausmenetelmään. Lyhyellä tähtäimellä väkilannoitefosforin käyttö maidontuotannossa ei ole kannattavaa. Maidontuotannossa fosforilannoitteen tarpeellisuus pidemmällä aikavälillä on kiinni optimaalisesta ruokinnasta, jota määrittävät vallitsevat hinta- ja tuotanto-olosuhteet. Mikäli typikuormitusta pyritään rajoittamaan, peltojen fosforitase kasvaa, koska sato määrät vähenevät. Lannan ravinnearvo ei vuoden 2007 hintatasolla riitä kompensoimaan investointeja kehittyneempään lannanlevitysteknologiaan, mutta lietelantasäiliön kattaminen osoittautui taloudelliseksi sijoitukseksi. Maatalouden ympäristötukiohjelman perusosan lannoitusrajoitteiden ohjausvaikutus on vähäinen.

---

*Avainsanat: ravinnekuormitus, päästövähennyskustannukset, typpi, fosfori, lanta*

---

# Economic model for regional optimisation of nutrient cycles on Finnish farms with dairy or plant production

Janne Helin

MTT Agrifood Research Finland, Economic Research, Luutnantintie 13, FI-00410 Helsinki,  
firstname.lastname@mtt.fi

## Abstract

Implementation of the water framework directive of European Union and the Finnish targets for water protection require that the nutrient load from arable land will be decreased. For finding a cost-effective solution to achieve these objectives, detailed information on the available abatement measures needs to be combined in a bioeconomic assessment model. This study focuses on the nutrient abatement measures which can be implemented on intensive dairy farms adjoined by farms involved only in crop production. The main research method is mathematical programming of non-linear economic and biological processes, which is applied on river Kalajoki sub-drainage basin to calculate the abatement costs. The results show that although the diet of dairy cows determines the phosphorus balances, it is not economically optimal in the short-term to target abatement on fodder use. If the feeding plan is optimal, no phosphorus concentrates needs to be fed and the abatement should be targeted on cultivation methods. For nitrogen abatement, reductions in annual levels of chemical fertilisation are suggested by the model results. However, this can lead to increased phosphorus balances, as less phosphorus is taken up by the crop yields. At the 2007 price levels the value of saved nutrients was not enough to compensate the increased costs of investing in advanced manure management on the farm level. Nevertheless, covering the manure storage from the rain water would seem to be profitable. The effects of the agri-environmental subsidy scheme of Finland on the nutrient abatement were minor.

---

*Key words: Nutrient abatement costs, nitrogen, phosphorus, manure management*

---



# 1 Johdanto

Maatalouden ravinnekuormituksen vähentäminen on osoittautunut haasteelliseksi. Suomen ympäristökeskuksen vesistöjen laadun seurannassa ei ole havaittu merkittävää parannusta vesistöjen tilassa huolimatta aikaisemmista ympäristötukiohjelmista ja miljoonien eurojen panostuksesta vesistöjen suojeluun (Vuoristo 2002). Uusien valtioneuvoston vesiensuojelun suuntaviivojen tavoitteena on vähentää maatalouden ravinnekuormitusta kolmanneksella. Kansallisten tavoitteiden lisäksi EU:n vesipuitedirektiivi velvoittaa jäsenvaltioita huolehtimaan vesistöjen kunnosta ja saattamisesta hyvään tilaan. Näiden vesiensuojelullisten tavoitteiden saavuttaminen nykyisillä keinoilla vaikuttaa ongelmalliselta, varsinkin kun otetaan huomioon kotieläintalouden yksikkökoon kasvu ja keskittymiskehitys sekä viimeaikainen maatalouden tuottajahintojen nousu.

Eryyisesti kotieläintalouden ravinnekuormituksen vähentämisen kustannuksista on Suomessa vähän tutkimustietoa. Aihetta käsitelleet tutkimukset ovat keskittyneet yksityiskohtaisiin toimenpiteisiin, mutta kokonaisvaltaista kustannustehokkuuslaskelmaa ei ole tehty. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kasvin- ja maidontuotannon mahdollisia vähennyskeinoja ja niiden kustannuksia. Suhteessa muihin kuormituksen vähentämisen kustannuksia käsitteleviin tutkimuksiin, joissa eläintuotos ja lannan ominaisuudet on vakioitu, tässä työssä optimoidaan maidontuotanto koko tilan voittoa maksimoivalle tasolle ja lannan ravinteiden kulkeutumista seurataan ruokinnasta peltojen vesistökuormitukseen saakka. Fosforin lisäksi tutkimuksessa on laskettu typpitase ja sen kuormituspotentiali, sillä näiden ravinteiden vuorovaikutus näkyy paitsi vesistöjen ekologisessa tilassa myös maatalon taloudellisessa tuloksessa. Uusi lähestymistapa kotieläintilan mallintamiseen on myös pellonkäytön optimointi siten, ettei maidontuotantotilan peltoalan käyttöä ole rajoitettu vain kotoisen rehun tuottamiseen. Itse tuotetun ja tilan ulkopuolelta tuodun rehun suhde määräytyy siis markkinahintojen perusteella.

Tutkimuksessa kehitettyä mallia sovellettiin Kalajoen osavalmu-alueella, jolle laskettiin valtioneuvoston asettamien tavoitteiden saavuttamisen kustannukset. Laskelmat tehtiin ottaen huomioon maatalouspolitiikassa sekä panos- että tuotoshinnoissa tapahtuneet muutokset vuosille 2003 ja 2007. Lisäksi tarkasteltiin maatalouden ympäristöpolitiikan vaikuttavuutta aluetta edustavilla tilamalleilla. Mallinnustulosten valossa maidontuotannon taloudellisesti optimaalista ruokintaa ei kannata muuttaa, vaan kustannustehokkaat vähentämistoimet kohdistuvat sekä maidon- että kasvintuotantotilojen lannoitteiden käyttöön ja maanmuokkaukseen.

## 2 Aineisto ja menetelmät

Maatalouden kuormituksen vähentämistä voidaan analysoida ympäristötaloustieteellisenä ongelmana, jossa yhteiskunnallinen suunnittelija<sup>1</sup> pyrkii saavuttamaan määrätyn kuormitustason kustannustehokkaasti. Koska ei ole olemassa tarkkaa arvioita ravinnekuormituksen vähentämisen myötä saavutettavista yhteiskunnallisista hyödyistä, päästöjen vähennyskustannuksia on luontevaa tarkastella kuormitustason funktiona. Koska kuormituksen määrittävät biofysikaaliset ja niihin yhdistyvät taloudelliset prosessit eivät ole kohtuullisin kustannuksin mitattavissa, ravinnekuormitukseen johtavaa vuorovaikutusta kuvataan bioekonomisen mallin avulla. Mallin parametrit arvioidaan useista eri alojen empiirisistä tutkimuksista.

Tilatyypikohtaisen mallinnuksen lähtökohtana on, että viljelijä pyrkii toiminnallaan maksimoimaan tilansa taloudellisen tuloksen käytettävien panos- ja tuotoshintojen määräytyessä kilpailuilla markkinoilla. Ravinnekuormituksen vähentämisen mahdolliset vaikutukset maataloustuotteiden hintoihin ovat siis tämän tutkimuksen soveltamisalan ulkopuolella. Ilman yhteiskunnallista ohjausta viljelijöiden taloudellinen toiminta johtaa usein asetettuja tavoitteita suurempaan kuormitukseen. Ravinnekuormituksen vähentämisen kustannusfunktio  $C_i$  saadaan kun lasketaan kuinka paljon viljelijän  $i$  optimivoitto  $\pi_i^*$  vähenee sallittua kuormitustasoa vähennettäessä typen (1) ja fosforin (2) osalta:

$$C_i(\bar{P}_i) = \pi_i^* - \hat{\pi}_i(\bar{P}_i) \quad (1)$$

$$C_i(\bar{N}_i) = \pi_i^* - \hat{\pi}_i(\bar{N}_i) \quad (2)$$

Viljelijä  $i$  on edustava maidontuottaja tai kasvintuottaja. Pääoma on mallissa suurelta osin kiinteänä sidottu, mutta viljelijän valittavana ovat eläinpaikkojen täyttöaste, ruokinta, kylvettävät kasvialat, kesannointi, lannoitus ja maanmuokkausmenetelmät. Lisäksi tarkastellaan lannanvarastointi- ja levitystapapäätöksiä. Malli kuvaa päätöksentekoa vuositasolla. Lyhyellä aikavälillä tuotantosuuntien kannattavuuserojen ei katsota heijastuvan alueen maakauppaan, eli edustavien tilojen suhteelliset pinta-alaosuudet eivät muutu. Kotieläintilalla eläinpaikkojen täyttöasteen on mahdollista vähentyä, mutta kasvintuotantotilalla ei laajenneta kotieläintuotantoon. Viljelijä perustaa päätöksensä tunnettuihin keskiarvoihin, joiden mukaiset vasteet realisoituvat luonnossa.

Kotieläintuotannon osalta tilamallin lähtötiedot perustuvat tyypilliseen intensiiviseen maitokarjatilaan, jolla ravinnekuormituksen ja erityisesti fosforin on arvioitu muodostuvan ongelmaksi. Kasvintuotantoa edustavalla tilalla tuotetaan ensisijaisesti viljaa, mutta myös erikoiskasvituotanto on mahdollista pie-

---

1 Yhteiskunnallinen suunnittelija (social planner)

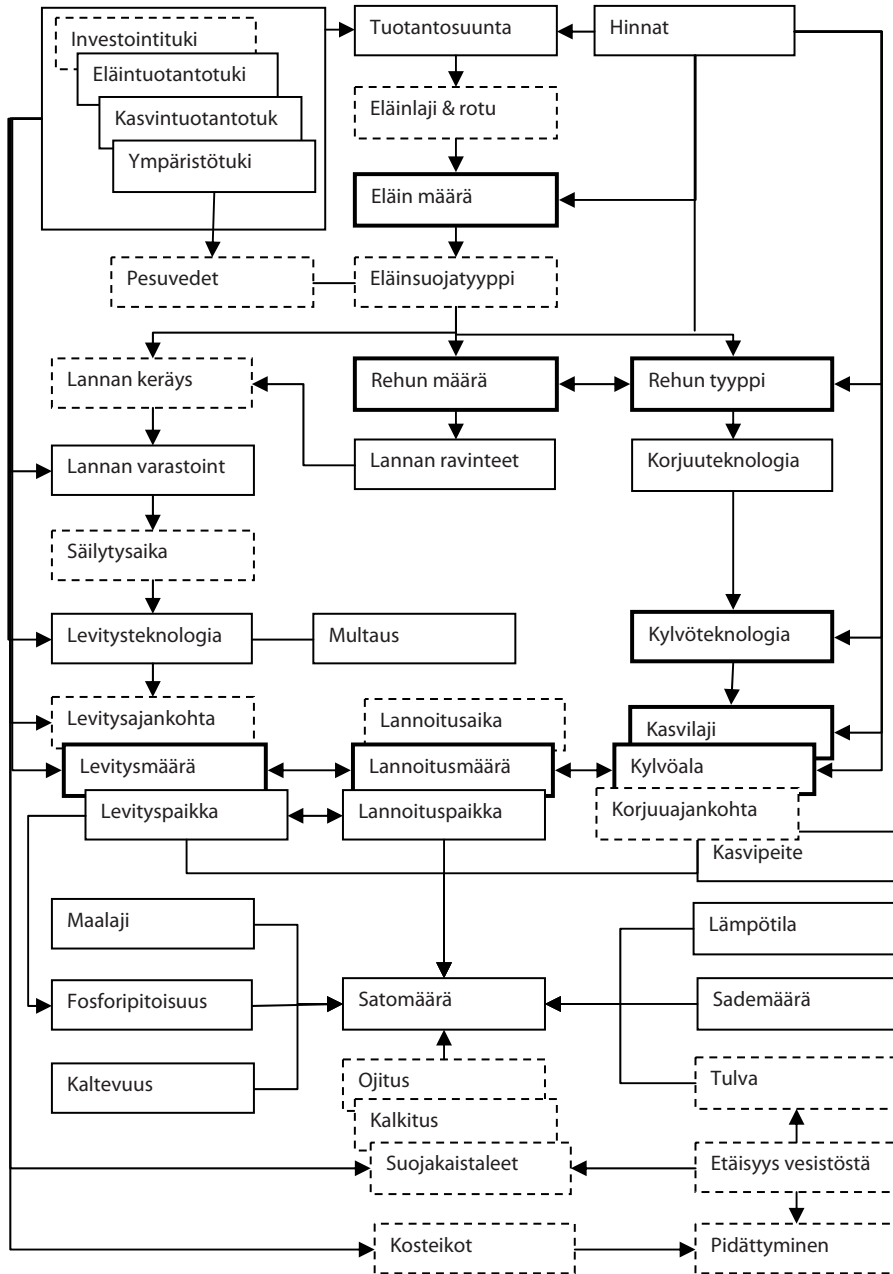
nemmässä mittakaavassa. Lähtöaineistojen riippuvuussuhteita yhdistää paitsi niiden vaikutus ravinnekuormitukseen myös niiden epälineaarisuus. Esimerkiksi maidontuotanto ei kasva suorassa suhteessa lehmän energiansaantiin, satomäärä ei kasva suorassa suhteessa lannoitusta lisättäessä, eikä pelloilta valuva kuormitus lisääny yhtä paljon jokaista käytettyä lannoitekiloa kohden. Kuormituksen vähentämiseen kohdistuvien toimenpiteiden tehokkuus ei ole siis arvioitavissa ilman, että otetaan huomioon se skaala, jolla päästöjen vähentämistä tavoitellaan. Vuotuisen kuormituksen laskenta on tehty 10 vuoden keskiarvosään ja Suomen ympäristökeskuksen ICECREAM-mallin kuormitustulosten pohjalta siten, että eroosio määrittää partikkelifosforin kuormituspotentiaalin ja valunta liukoisien fosforin potentiaalin. Myös maan fosforipitoisuus ja -lannoitus on huomioitu laskennassa (Helin ym. 2006, Uusitalo ym. 2002, Uusitalo ym. 2003). Typpikuormitus on suuremmin riippuvainen lannoituksesta (S. E. Simmelsgaard and J. Djurhuus 1998). Kuormituksen vähentämisen keinoja esitellään tarkemmin luvussa 2.1.

Yllä olevat riippuvuussuhteet ovat myös yhteiskunnallisen suunnittelijan tiedossa, ja niiden kautta on mahdollista ohjata tilojen yhteen laskettu kuormitus määrittämälleen tavoitetasolle. Kustannustehokas ratkaisu ongelmaan on määritelmällisesti se, jossa tilojen yhteenlasketut vähentämiskustannukset ovat mahdollisimman pienet. Mikäli tilojen päästöjen vähentämisen kustannukset ovat erilaisia esimerkiksi tuotantorakenteesta johtuen, halvin kokonaiskuormituksen vähennys ei tapahdu tilojen vähentäessä kuormitusta samalla prosentiosuudella. Tehokkaasti kohdennettuina tilakohtaiset päästövähennykset määräytyvät rajakustannusten perusteella, eli kustannustehokkaassa ratkaisussa tilojen kuormituksen vähentämisen rajakustannukset ovat yhtä suuret. Keinovaikoa viljelijöiden ohjaamiseksi tarkastellaan luvussa 2.2.

Viljelijän päätöksenteko-ongelma on muotoiltu epälineaariseksi rajoitetun optimoinnin ongelmaksi, joka ratkaistaan numeerisesti matemaattisen ohjelmoinnin (GAMS) ja algoritmien (CONTOPT3) avulla (Helin 2007, Brooke ym 1998, Drud 2004). Näin tilatyypikohtaisesti simuloituista kustannuksista estimoidaan kustannusfunktiot pienimmän neliösumman menetelmällä sekä kasvin tuotantoon että maidontuotantoon erikoistuneille tiloille. Kustannustehokkaat kuormitusosuudet tilatyypeille ratkaistaan estimoitujen kustannusfunktioiden ensimmäisten kertalukujen ehdoista. Ravinnepäästöjen vähentämisen kustannusten lisäksi malli tuottaa optimaalisen lypsylehmämäärän, ruokinnan, lannoituksen, kylvötekniikan, sadot eri kasveille, kesantoalan, ravinnetaseet ja kuormituspotentiaalin. Malliin liittyviä oletuksia tarkastellaan seuraavissa luvuissa lähinnä ravinnekuormituksen vähentämisen osalta.

## 2.1 Ravinnekuormituksen vähentämiseen käytettävissä olevat toimet tilatasolla

Kuormitukseen vaikuttaa suuri määrä tekijöitä, joiden vuorovaikutuksia ja laatua on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Maatalouden ravinnekuormitukseen vaikuttavia tekijöitä.

Maatalouden ravinnekuormitus on useiden tekijöiden summa. Kaikkiin tekijöihin, kuten säähän, ei voida kuitenkaan vaikuttaa. Osa tekijöistä on puolestaan epäsuoria ja rakenteellisia, kuten kotimaisen kotieläintuotannon kilpailukyky ja teknologian kehitys. Tässä tutkimuksessa on keskitytty tekijöihin, jotka on mahdollista huomioida tilatason päätöksenteossa. Monet näistä tekijöistä vaikuttavat ravinnekuormitukseen myös epäsuorasti sadon kautta. Kuvassa 1 vahvennetut laatikot kuvaavat niitä valintoja, joiden kautta malli olettaa viljelijän säätelevän ravinnekuormitusta, kun taas katkoviivalla piirretyt laatikot ovat hyvin yksinkertaistetusti tai puutteellisesti mallissa kuvattuja tekijöitä. Kaikkia kytkentöjä ei ole pyritty esittämään nuolin, vaan esimerkiksi hintojen vaikutus on liitetty vain mallinnettuihin päätösmuuttujiin sekä tuotantosuuntaan, joka määrittää jaon kasvin- ja maidontuotantotiloihin.

Oletuksena on, että maa pysyy maatalouskäytössä. Suojakaistan tai -vyöhykkeen perustamisesta tasaiselle Pohjanmaalle ei ollut empiiristä aineistoa, josta niiden tehoa olisi kyetty arvioimaan. Myöskään kosteikkojen perustamista ei ole mallinnettu, sillä niiden tehokkuuden arviointi edellyttäisi valuma-alueen virtausten tarkempaa spatiaalista ja luonnontieteellistä kuvausta (Puustinen 2007). Koska malli perustuu vuotuisille keskiarvovasteille, on sen kautta vaikeaa arvioida toimenpiteen ajoitukseen perustuvien vähentämistoimien tehokkuutta tai kustannuksia.

### **2.1.1 Eläinmäärä**

Eläinmäärällä on suora yhteys syntyvän lannan määrään. Mitä vähemmän eläimiä tilalla on, sitä vähemmän on levitettävää lantaa ja tätä kautta tilan kuormituspotentiaali pienenee. Lypsävän lehmän poistaminen karjasta ravinnekuormituksen vähentämiseksi on kuitenkin kallis toimenpide, sillä se johtaa tilan vuotuisen maitotuotoksen vähenemiseen lehmän tuotoksen verran. Tässä tutkimuksessa kehitettyyn malliin ei sisältynyt lehmäkohtaisia eroja, joten lehmän poistaminen tarkoittaa taloudellisella optimiruokinnalla saavutetun keskimääräisen vuosituotoksen vähentämistä tilan tuloista. Monissa aiemmissa maatalouden ravinnekuormituksen vähentämistä tarkastelleissa tutkimuksissa sekä lannan ravinnesisältö että volyyymi on vakioitu kansallisten keskiarvojen mukaisiksi (Innes 2000, Feinerman 2004, Lehtonen 2007). Tällaisilla oletuksilla eläinmäärän vähentäminen kuormituksen pienentämiseksi korostuu, sillä ruokinnan vaikutus sekä lannan määrään että ennen kaikkea ravinnesisältöön on laiminlyöty.

### **2.1.2 Ruokinta**

Ruokinta vaikuttaa sekä syntyvän lannan määrään että ravinnesisältöön. Vähennettäessä eläinten rehussa syömää fosforia myös vähemmän (eläimeltä hyö-

dyntämättä jäänyttä) fosforia erittyy sotaan. Ruokinnan ravintoaineista ei voi kuitenkaan tinkiä liikaa vaarantamatta eläimen tuotosta ja terveyttä. Eläimen hyvinvoinnille ja täten pitkän tähtäimen tuottavuudelle asetettujen ravintoainetasojen vaikutus on huomioitu mallissa matemaattisin rajoittein, jotka takaavat ruokintasuositusten mukaisen ravintoaineiden saannin. Koska suositukset otetaan annettuina rajoitteina, on ruokinnallisten keinojen kannalta tärkeää, että rajoitukset eivät johda myöskään fosforin liikaruokintaan. Ruokintasuosituksia on tarkennettu vuonna 2004/2006 ja fosforin tarve on lypsylehmillä aiempaa pienempi (MTT 2006). Ruokinnan fosforipitoisuus ei kuitenkaan ole ainoastaan ruokintasuositusten määrittämä, vaan siihen vaikuttavat mm. valkuais- tuotoksen nostamiseen käytettävät rehut. Ruokinnan merkitystä typpi- ja fosforikuormituksen vähentäjänä täytyy siis tarkastella osana laajempaa ravintoainevalikoimaa. Maitotuotos kuvataan mallissa rehun energian ja valkuaispitoisuuden funktiona, johon parametrit on arvioitu laajasta suomalaisesta koeaineistosta (Huhtanen, P. tiedonanto 16.1.2007).

Koska tilamallissa lehmiä ei laidunneta, muodostuu ruokinta koko vuoden ajan väki- ja säilörehusta. Ruokintaan käytettävissä olevien rehujen hinnat ja rehuarvot ovat MÄRE-aineistosta ja MTT:n rehutaulukoista (MTT 2006). Rehuaineistoa on rajattu siten, että ostettavissa on viljan ja rypsin lisäksi vain kaupallisesti valmistettuja ”brandättyjä” rehuja. Jalostamattomien rehuarvojen laskennassa on käytetty hehtolitrapainokohtaisten lukujen keskiarvoa. Säilörehun ravintoainearvot on laskettu yli kolmen korjuun keskiarvon, niin että suurin painoarvo on ensimmäisen sadon rehuarvoilla ja pienin kolmannen sadon arvoilla. Bosch ym. (2006) tekemässä pohjoisamerikkalaisessa tutkimuksessa on tarkasteltu ravinnekuormituksen vähentämistä ruokinnallista tehokkuutta lisäämällä esimerkiksi bovine somatrophinin, keinotekoisesti pidennetyn päivän tai lypsykertojen lisääminen avulla. Näitä keinoja ei ollut mahdollista sisällyttää tähän tutkimukseen.

### **2.1.3 Kasvivalikoima**

Viljelykasvivalinta vaikuttaa ravinnekuormitukseen kasvipeitteen ja lannoitusintensiteetin kautta. Malli kattaa merkittävimmät viljat, säilörehunurmen, tärkkelysperunan, sokerijuurikkaan, rypsin ja herneen viljelyn. Nurmi on monivuotista. Mallin kasvivalikoima kattaa yli 95 % tutkimusalueen viljelyalasta. Viljelyala on vapaasti kohdennettavissa tuottavimpaan käyttöön, lukuunottamatta sokerijuurikasta ja perunaa, joiden pinta-alaosuus oli Suomessa vuonna 2003 yhteensäkin alle 1 % (SVT 2004). Rypsin tuholais/tautitorjunta on huomioitu rajoittamalla sen pinta-alaa kolmannekseen. Nurmen fosforikuormituspotentiaali on mallin kasveista pienin. Peltoviljojen välillä ei ole suuria eroja. Syys- ja kevätviljat on parametrisoitu erikseen. Sokerijuurikkaan ja perunan ominaiskuormitus annettulla lannoitetasolla on oletettu yhtä suureksi. Herneelle ei ollut kuormitusparametreja, joten sen kuormitus on arvioitu ohran paramet-

rien mukaisesti. Sadon sisältämä fosfori on vakioitu kasvikohtaisesti. Kasvivalikoiman ulkopuolelle mallista jäivät energiakasvit ja metsittäminen. Lisäksi seoskasvustoa ei ole mallinnettu lukuunottamatta ohra-kaura -seosta, joka on laskettu näiden kasvien keskiarvona.

#### **2.1.4 Maanmuokkausmenetelmät**

Erilaisia muokkausmenetelmiä käyttämällä voidaan vähentää erityisesti eroosion mukana kulkeutuvan partikkelifosforin kuormitusta (Puustinen ym. 2005). Verrattuna tavanomaiseen kyntöön, kevennetty muokkaus ja suorakylvö vähentävät paitsi kuormitusta myös satoa (Uusitalo ja Eriksson 2004). Tällöin vähentämisen kustannus syntyy menetetyn sadon määrästä ja muokkaustekniikoiden kustannuseroista. Ruotsalaisissa tutkimuksissa on tarkastelu kyntöajan muuttamista kuormituksen vähentämiseksi (Brady 2003) ja suomalaisissa puolestaan peltotöiden viivästymisen ajallisuuskustannuksia (Haataja 1998). Ajoituksen vaikutuksesta ravinnekuormitukseen ja satoihin tarvittaisiin kuitenkin systemaattista tietoa kaikista toteutuskelpoisista kasvi- ja muokkausmenetelmäkombinaatiosta, joiden vaikutus olisi vielä mallinnettava erilaisilla lannoitustasoilla. Puutteellisten lähtötietojen vuoksi ajoituksen samoin kuin maan tiivistymisen, salaojituksen tai kalkituksen vaikutuksia ei sisällytetty mallitarkasteluihin. Ojituksen merkitys kuormituksen vähentämiselle on ristiriitainen. Pintavalunnan seurauksena syntyvä fosforikuormitus saattaa vähentyä salaojituksen kunnostamisen seurauksena, mutta samalla typen kokonaishuuhtouma voi lisääntyä (Turtola 1999, Petrolia ja Gowda 2005).

#### **2.1.5 Kesannointi**

Mallissa tarkastellaan kasvipeitteisen kesannon osuutta ravinnekuormituksen vähentämisessä. Samoin kuin kasvivalinnalla ja muokkausmenetelmällä, kesannon osuudella vaikutetaan pellon pinnan kasvipeitteisyyteen ja täten eroosioherkkyyteen. Lisäksi oletetaan, että kesantoa ei lannoiteta. Kesantoalaan liittyviä määräyksiä on yhteisessä maatalouspolitiikassa paljon. Tässä mallissa kesannolle käytetään 10 % kesannointivelvoitetta kesannon minimimääränä peltopinta-alasta. Kesannolle on määritetty myös maksimimäärä, joka vastaa puolta tilan pinta-alasta. Maataloustukipolitiikan täydentävien ehtojen mukaisesti kesanto on pidettävä nurmipeitteisenä kasvukaudella.

#### **2.1.6 Lannoitus**

Lannoituksen vähentäminen pienentää maaperässä olevan ravinteen määrää ja täten myös ravinnekuormituspotentiaalia. Lannoituksen satovasteen tarkastelu on rajattu typpeen ja fosforiin. Typen ja fosforin osalta vuosittaisen lannoituksen vaikutukset satoihin tai ravinnekuormitukseen eivät ole yhteneviä.

Kasvien satomäärien kuvauksessa eri lannoitetasoilla käytetään lähinnä MTT:n kenttäkoeaineistoa ja niistä johdettuja satovastefunktioita (Saarela 1995, Lehtonen 2001). Koska käytännön viljelyssä ei saavuteta yhtä suuria keskisatoja kuin koeruuduilla, on typen lannoitusvaste kalibroitu alueellisen keskisadon mukaiseksi Lehtosen (2001) tavoin. Maaperän fosforitilan on oletettu olevan hyvä (14.8), sillä tämä vastaa käytännön tilannetta intensiivisellä karjatalouden alueilla (Uusitalo ym. 2008). Täten vuotuisen fosforilannoituksen tuottama sato-vaste on pieni ja se on laskettu typpisadon lisäksi kokonaissatomääriin. Lannoitus päätökset ovat mallissa endogeenisiä sekä typen että fosforin osalta. Keinolannoitteiden osalta viljelijä voi valita suuresta joukosta erilaisia lannoitteita, joiden typpi- ja fosforisuhteet vaihtelevat. Typen hintana käytetään Suomensalpietarin hintaa, sillä se on edullisin väkilannoitetyypin lähde. Fosforin hinta on laskettu yhdistelmälannoitteista fosforikiloa kohti halvimmasta yhdistelmästä. Tutkimuksessa käytetyt liitteeseen 1 lasketut lannoitehinnat vuosille 2003 ja 2007 eivät siis ole keskiarvoja, ja jos viljelijä joutuisi maksamaan lannoittees-taan enemmän, olisi lannoitteen taloudellinen optimikäyttö vähäisempää. Lietelannan ravinnesuhde on ruokinnan ja lantaketjun ravinnehävikkien määrittämä. Typen kuormituspotentiaali hehtaaria kohden on kuvattu suhteessa kasvikohtaiseen typenottoon, jonka viitetasoksi on otettu ympäristötuen mukaiset lannoitus-suositukset (Simmelsgaard 1991, Simmelsgaard ym. 1998, Helin ym. 2006). Fosforikuormituksen osalta vuotuisen lannoituksen välitön merkitys kuormitukselle on pieni, mutta maanmuokkausparametreilla on suurempi rooli (Uusitalo ja Jansson 2002, Uusitalo 2003, Helin ym. 2006).

### **2.1.7 Lannankäsittely ja kuljetus**

Lannan merkitys ravinnekuormituksen osana ei rajoitu sen sisältämiin ravinnemääriin, vaan lisäksi on olennaista, minne lanta päätyy. Ilman maatalouden ympäristöpolitiikkaa ei olisi määräyksiä lannan levittämisaikajankohdista tai vaadittavasta levityspinta-alasta. Tällöin lannan levittäminen olisi täysin viljelijän omien taloudellisten etujen määrittelemä, mutta lannan sisältämien ravinteiden vuoksi lanta ei olisi silloinkaan taloudellisesti arvotonta. Jos keinolannoitteet ovat halpoja, lannan ravinteiden hyödyntämättä jättäminen ei ole kuitenkaan suuri taloudellinen uhraus. Yksityistaloudellisessa optimissa ravinteiden arvon olisi katettava vähintään levityskustannukset, jottei lanta ole vain jätettä. Lannan ravinteiden arvon ylittäessä levityskustannukset voidaan lantaa kuljettaa taloudellisesti kunnes levitys- ja kuljetuskustannukset nousevat yhtä suuriksi kuin lannan arvo. Jotta lannan varastointi olisi puolestaan yksityistaloudellisesti optimaalista, olisi lannan arvon merkittävässä määrin riipputtava sen levitysaikajankohdasta. Ajankohdalla on merkitystä, sillä se vaikuttaa lannan ravinteiden hyväksikäyttöön, mutta toisaalta varastoinnin järjestäminen on merkittävä kiinteä kustannus, jonka kattaminen vaatisi selkeän hintaedun lannan hyväksi verrattuna keinolannoitteisiin.



Aiemmissa suomalaisissa tutkimuksissa lannan varastoinnin on laskettu muodostavan 45–65 % kaikista suorista lantaketjun vuotuiskestävyyksistä ja lannan ravinteiden arvon olevan riittämätön keskikokoisilla tiloilla lantaketjun vuotuiskestävyyksien peittämiseen (Haataja 1998). Nykyinen keskitilakoko ja hintasuhteet eivät muuta tilannetta, mutta yksityistaloudellinen optimi on selkeästi ristiriidassa jo vakiintuneen ympäristölainsäädännön kanssa. Tämän vuoksi mallissa ei ole vertailukohtana lantaketjun yksityistaloudellinen optimi, vaan nykypolitiikan käytäntöjä seurataan esimerkiksi nitraattidirektiivin (931/2000) levitysaikavaatimusten osalta. Tutkimuksen lähtötaso ei siis ole yksityistaloudellinen optimi, vaan se vastaa päätöksentekotilannetta, jossa pitkän aikavälin investointipäätökset on tehty jo annetun maatalouden ympäristöpolitiikan nojalla (tämä vastaa myös tulotukien ja tilakoon reunaehtoja). Operoitaessa näillä ehdoilla lannan varastointi on paitsi yhteiskunnan tukemaa, myös sen vaatimaa, ja viljelijän noudattaessa ehtoja valinnan kohteena on pikemminkin toteutustapa. Lannan varastointi onkin mallinnettu yksinkertaisesti siten, että lantavaraston kattaminen on yhtenä muuttujana.

Intensiivisen tuotannon kuvaamiseksi tehdään lisäksi kaksi yksinkertaistavaa oletusta. Ensinnäkin varasto on lietelannalle, sillä erottelu virtsan ja kuivan lannan välillä lisäisi kustannuksia navetassa ja johtaisi lannan heterogeeniseen ravinnesisältöön (Haataja 1998). Toiseksi, varastokapasiteetti on mitoitettu 12 kuukauteen, sillä malliin ei sisälly laidunkautta. Kummatkin näistä oletuksista on mallin rakenteen huomioon ottaen mahdollista toteuttaa myös toisin. Päivittäinen vedenkulutus navetassa on laskettu lehmää kohden länsisuomalaisesta aineistosta (Tuhkanen ym 2005). Vedet ohjataan lietelantasäiliöön. Pesuveiden ravinteita ei mallissa huomioida lietelannan ravinnepitoisuutta laskettaessa. Aiempien tutkimusten mukaan pesuveiden osuus on vähemmän kuin 5 % lietelannan fosforista (Tuhkanen ym. 2005). Lietelannan kuiva-aineen määrä on laskettu dieetin sulamattoman aineksen nojalla (Bosch ym. 2006). Vastaavasti virtsan määrä on vakio suhteessa lannan kuiva-aineeseen. Lietelantalalan kattamis päätöksellä voidaan vaikuttaa varastoinnin aikana haihtuvan typen määrään ja lannan volyymin, sillä sadeveden pääsy varastoon on estettävissä kiinteällä katteella. Mallissa oletetaan, että fosforia ei katoa missään lantaketjun vaiheessa. Typen osalta haihtuminen on mahdollista myös levityksen yhteydessä ja sitä kuvataan eri levitysteknologioille annettavalla kertoimella (välillä 0–1). Lannan ravinteiden määrä on kytketty tilavuuteen yhtälörajoitteen avulla. Näin levittämisen on tapahduttava samalla kalustolla sekä hävikkien että kustannusten vastatessa valittua tekniikkaa. Levitystekniikoina on mahdollista hyödyntää joko hajalevitystä, letkulevitystä tai sijoitusta. Kotieläintilalla levitystapa on määriteltävä vertaamalla lannasta ilmaan hävinneen typen arvoa suhteessa levityslaitteistoon sitoutuneen pääoman ja levitykseen kuluvan ajan välillä. Kasvintuotantoon erikoistuneella tilalla ei ole omaa lannan levityskalustoa ja sen oletetaan ottavan vastaan lantaa kotieläintilan valitsemalla levitysmenetelmällä. Mallissa oletetaan, että kaikki lanta levitetään keväällä ja että levityksellä ei ole vaikutusta.

tusta kylvöajankohtaan. Lannan fraktiointia tai fosforin kemiallista käsittelyä ei ole mallinnettu. Tutkimuksessa ei myöskään tarkastella bioenergian tuotantoa osana lantaketjua. Mallissa ei ole optimoitu lannan kuljettamisen dynamiikkaa tilojen välillä, mutta tilatyypin välisen kuljetuksen tehokkuutta tarkastellaan vertailemalla kuljetus- ja levityskustannuksia ja lannan ravinnearvoa.

## **2.2 Ravinnekuormituksen vähentämisen ohjaukset**

Teoriassa on olemassa laaja joukko erilaisia keinoja ravinnekuormituksen vähentämiseen. Keinot voidaan jakaa hallinnollisiin rajoituksiin, taloudellisiin kannustimiin ja informaatio-ohjaukseen. Näiden luokkien kautta on mahdollista analysoida mm. ohjaukseton vaikutavuutta, hyväksyttävyyttä, valvottavuutta ja tietotarpeita. Käytännössä Suomen ympäristötukijärjestelmä sisältää sekä informaatio-ohjauksen että hallinnollisten määräysten piirteitä, vaikka nimi itsessään viittaa taloudelliseen ohjaukseen. Tässä tutkimuksessa on laskettu vain ympäristötuen perusosan määrärajoitteiden ja tuen vaikutuksia. Muiden toimien osalta tehdään vain yleisluontoinen katsaus.

### **2.2.1 Rajoitukset ja määräykset**

EU:n vesipolitiikan puitedirektiivissä ja sen pohjalta annetussa vesienhoidon järjestämisestä koskevassa laissa (1299/2004) on asetettu yleiseksi tavoitteeksi vesien hyvä tila. Keskeisin maatalouden kuormituksen vähentämiseen tähtäävä määräys Suomessa on EU:n nitraattidirektiivi ja sen asetus (931/2000). Nitraattiasetuksessa on 170 kg/ha raja lannassa levitettävälle kokonaistypelle. Tämän lisäksi nitraattidirektiivissä kielletään lannan levittäminen jäiseen maahan ja talvella. Typpilannoitus kielletään viittä metriä lähempänä vesistöä. Koko Suomi on nitraattidirektiivin rajoitusten piirissä, mutta kuten ympäristötuen hakuoppaassa (2003) todetaan, nitraattiasetuksen noudattamista ei tarkasteta CAP:in eli yhteisen maatalouspolitiikan ympäristöehtojen valvonnassa (MMM 2003).

Useimmiten maatalouden vesistövaikutuksia rajoittavat määräykset ovatkin ehtona maataloustuille. CAP tuen ehtona on, että vesistöön tai valtaosaan rajoitettavalla lohkon osalla on oltava 60 cm:n levyinen muokkaamaton piennar. Lisäksi lannoitteiden ja kasvinuojeluaineiden käytössä on noudatettava huolellisuutta (MMM 2003). Tämän ns. täydentävän ehdon ravinnekuormitusvaikutusta ei ole arvioitu mallissa.

Koska yli 95 % suomalaisista aktiiviviljelijöistä on mukana ympäristötukijärjestelmässä, jossa asetetaan edellistä tiukempia lannoitusrajoitteita, on syytä huomioida ympäristötukijärjestelmän asettamat rajat. Tutkimuksen aikana ympäristötuen toinen ohjelmakausi (2000–2006) päättyi ja kolmas kausi (2007–

2013) käynnistyi. Tässä tutkimuksessa on pyritty vertaamaan näihin ohjelmiin sisältyviä määräyksiä lannoitteiden sallitusta käytöstä hehtaaria kohden sekä laskemaan näistä seuraavat taloudelliset menetykset tilatyyppeihin edustavalle viljelijälle. Ympäristötukijärjestelmää on pidetty tärkeimpänä vesiensuojelun keinona (Valtioneuvoston periaatepäätös 2006. ). Jos vesistönsuojelu olisi ainoa järjestelmän tavoite, olisi ympäristötuen määrän vastattava lannoitusrajoituksista ja muista vesistönsuojelutoimista viljelijöille aiheutuvia kustannuksia.

Ympäristötukijärjestelmässä yleisiä rajoituksia täydennetään kasvikohtaisilla enimmäismäärillä. Kasvilajin lisäksi lannoitteiden sallittuihin käyttömääriin vaikuttavat viljelijän ilmoittama odotettu hehtaarisato, maalaji ja fosforin osalta maan fosforiluku. Tutkimuksessa käytetyt rajat on esitetty liitteessä 2. Karjanlantaa levitettäessä peltohehtaaria kohden sallitut fosforimäärät ovat selvästi suurempia kuin runsasfosforisilla mailla muuten sallitaan. Täten karjanlannassa voidaan kolmannenkin ympäristötukijärjestelmän ehtoja noudattaen levittää 17.5–23.5 kiloa fosforia peltohehtaaria kohden, kun huomioidaan ns. fosforin käyttökelpoisuusprosentti.

Kasvikohtaisten lannoitusrajoitteiden noudattamisen valvonta on vaikeaa, sillä ostolannoitteiden kokonaismäärästä ei pysty aukottomasti päättämään kasvikohtaisesti käytettyjä määriä. Kylvöä ja istutusaikaa koskevien määräysten katsotaan täyttyvän viljelijän voitonmaksimoinnin kautta. Useamman kuin yhden kasvilajin 1.8.2007 voimaan tullutta viljelypakkoa ei ole otettu sitovaksi rajoitteeksi mallissa. Ojan tai vesistön piennaraluetta ei ole vähennetty käytettävissä olevasta peltopinta-alasta. Suojakaistalle ympäristötuessa asetettava vähimmäisala riippuu peltolohkojen sijainnista ja geometriasta, joita ei tässä tutkimuksessa mallinnettu. Sama mallinnustarkkuus vaadittaisiin myös karjanlannan fosforin levitykselle annettujen poikkeusehtojen mallinnuksessa, sillä korkeampia määriä on sallittua käyttää ainoastaan 25 metriä kauempana vesistöstä.

## **2.2.2 Tuki**

Hajakuormituksen mittaaminen on vaikeaa ja täten vähentämisen tukea on vaikea kytkeä suoraan päästöihin. Tällöin myös tuki on kyettävä osoittamaan jollekin kuormitusta vähentävälle, mutta mitattavissa olevalle toimenpiteelle. Tällä periaatteella Suomen ympäristötukijärjestelmässä tuetaan mm. lannoituksen vähentämistä ja kasvipeitteen lisäämistä. Tuen laskenta perustuu keskimääräisiin kustannuksiin ja sen lisäksi maksettavaan korkeintaan 20 % osuuteen, josta vanhan ohjelmakauden aikana käytettiin termiä kannustin ja uuden ohjelmakauden aikana transaktiokustannus. Vaikka teoriassa maatilakohtainen tuki olisikin asetettavissa yhteiskunnallisesti optimaaliselle tasolle panoskäyttöön perustuen, ympäristötukijärjestelmän kiinteä korvaus hehtaaria kohden ei voi johtaa kustannustehokkaaseen ratkaisuun. Pinta-alan perusteella maksettu tuki

kannustaa säilyttämään myös heikkotuottoisen maan maatalouskäytössä, mikä kasvattaa maatalouden ravinnekuormitusta.

Ympäristötuen kuormitusvaikutuksen havainnollistamiseksi ravinnekuormituksen vähentämisen optimointi on tehty sekä tukijärjestelmän mukaisesti että ilman sitä. Ympäristötuen valinnaiset lisä- ja erityistoimenpiteet mahdollistavat perusosan lannoitusrajoitteita pidemmälle menevän ravinnepäästöjen vähenemisen. Myös erityistoimenpiteissä korvaus on sidottu tarkkaan määritellylle toimenpiteelle ja esimerkiksi lannoituksen vähentämistä tuetaan lisätoimenpiteen avulla vain tiettyyn kilomäärään asti. Täten erityistukikaan ei teoreettisesti kohdennu täysin oikein. Lisä- ja erityistukien mallintaminen on mittava urakka, sillä tuet kohdentuvat hyvin yksityiskohtaisesti eriteltyjen ehtojen perusteella, jotka kaikki pitäisi ohjelmoida matemaattisin yhtälörajoittein. Lisä- ja erityistukien toimivuutta ei arvioida tässä tutkimuksessa.

### **2.2.3 Informaatio-ohjaus**

Ympäristötukijärjestelmä sisältää monia toimia, joita voidaan luonnehtia lähinnä informaatio-ohjaukseksi, vaikka niiden perusteella onkin mahdollista saada tukia. Uuden järjestelmän perustuen saamiseksi vaaditaan esimerkiksi vuosittainen viljelysuunnitelma ja ”riittävän usein” suoritettu viljavuustutkimus. Näin viljelijän on seurattava lohkojensa lannoitusta ja satotasoja. Nämä toimet ovat tietysti tarpeen myös lannoiterajoitteiden seurannassa ja valvonnassa. Tämän tutkimuksen tuottamassa mallissa oletetaan, että viljelijällä on jo hallussaan oikea tieto käyttämiensä tuotantopanosten vaikutuksista. Käytännössä tieto voi olla puutteellista ja on mahdollista, että tutkimuksella ja neuvonnalla pystytään parantamaan tuotannon tehokkuutta ja vähentämään esimerkiksi ravinnehävikkiä. Erityisesti informaatio-ohjauksen voisi odottaa tuottavan tulosta silloin, kun tiedon soveltaminen ei ole viljelijän taloudellisten intressien kanssa ristiriidassa.

### **2.2.4 Vero**

Verottamalla päästöjä, panoksia tai tuotosta pystytään vaikuttamaan kuormituksen määrään. Suomessa esimerkiksi jätteelle on ympäristövero, jolla pyritään sen synnyn ehkäisyyn. Maatalouden ravinnekuormituksen osalta ei Suomessa ole ollut ympäristöveroja sitten vuoden 1994, jolloin lannoiteverosta luovuttiin. Lannoitevero on edelleen käytössä esimerkiksi Ruotsissa. Vero voidaan kohdistaa myös muuhun kuin lannoitukseen, vaikka itse kuormituksen verotuksessa on samanlaisia hajakuormitukseen liittyviä ongelmia kuin sen vähentämisen tukemisessakin. Tästä on esimerkkinä vuosien 1988–2003 MINAS-järjestelmä Hollannissa, jossa verotettiin porttitaseesta määriteltyä ylijäämää.

Verotusta maatalouden ympäristöpolitiikan ohjauksena on käsitelty hiljattain (Hildén ym. 2007).

### **2.2.5 Päästökauppa ja muut uudet keinot**

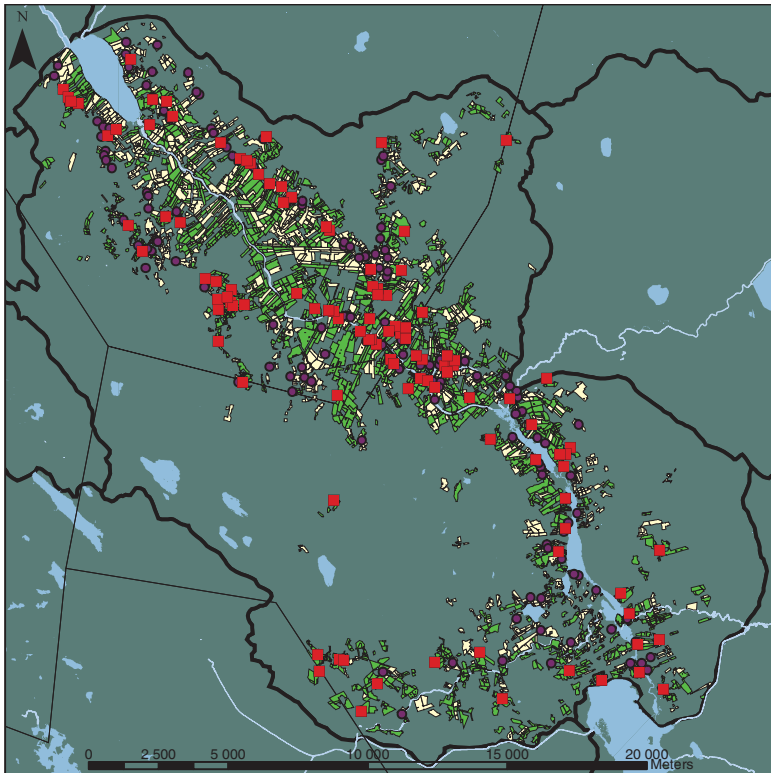
Ravinnekuormituksen vähentämiseksi olisi mahdollista luoda ilmastopolitiikan saralta tutuksi tullut päästökauppajärjestelmä, jossa ravinnekuormitukseen oikeuttavia lupia voisi ostaa ja myydä eri toimijoiden välillä. Päinvastoin kuin kasvihuonekaasuilla, ravinnepäästöillä on paikallisia ympäristövaikutuksia, joiden laiminlyöminen kauppajärjestelmässä voi johtaa hyvinvointitappioihin. Toimiakseen sisävesien suojelun kannalta, päästökauppajärjestelmän vähennystavoitteiden olisi oltava vesistökohtaisia. Koska tähän ei ole olemassa toimivaa järjestelmää, maatalouden päästölupia on kiinnitetty kuormitusta vähentäviin viljelymenetelmiin varsinaisen kuormituksen sijaan (Chesapeake Bay Program 2001). Luonnontieteellisten mittaus- yms. ongelmien ratkomisen lisäksi päästökauppajärjestelmän luominen vaatii yhteisymmärrystä päästöoikeuksien saajista ja lupien jaosta näiden kesken. Hajakuormituksen vähentämisen määrittämisen ongelmallisuudesta johtuen Itämeren päästökauppaa onkin ensi vaiheessa suunniteltu jäteveden puhdistamoiden väliseksi. Ympäristötaloustieteen teorian nojalla päästökauppaan kuitenkin kannattaa ottaa mukaan kaikki kuormittajat. Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu ainoastaan maatalouden osuutta. Päästökauppaa on todistettu syntyvän silloin, kun päästöjen vähentämisen kustannukset toimijoiden välillä ovat erilaisia. Vähentämiskustannuksissa eroja syntyy yllä tarkasteltujen tekijöiden jakautumisesta eri tilojen välillä. Koska kotieläintilojen toiminta on luonteeltaan erilaista kuin kasvintuotantoon erikoistuneiden tilojen, voidaan päästökaupan edellytyksiä tarkastella myös tilatyypin välillä. Päästökauppajärjestelmää toteutettaessa olisi huomioitava myös olemassa olevan ympäristötukijärjestelmän vaikutus. Koska ympäristötukijärjestelmä tukee tiettyjä toimenpiteitä, ei kauppajärjestelmä ole tasa-arvoinen toimijoiden kesken.

## **2.3 Tutkimusalue**

Maataloustukipolitiikan myötävaikutuksella maidontuotantoa on lisätty Pohjanmaalla, jossa alueelliset ravinnetaseet erityisesti fosforin osalta ovat suuria. Suuret alueelliset taseet muodostavat paitsi merkittävän vesistökuormitusriskin, niin myös kustannuserän lainsäädäntöä ja ympäristötuen ehtoja noudattavalle viljelijälle. Keski-Pohjanmaan halki virtaava 130 km pitkä Kalajoki kerää ravinteita 4247 neliökilometrin suuruiselta vesistöalueelta. Joen vesi on ravinteikasta, mutta sen vaikutus Pohjanlahteen ei ole johtanut samanlaisiin ongelmiin kuin Saaristomerellä. Kuitenkin ottaen huomioon Kalajoen hiekkasärkkien virkistysarvon, fosforitaseiden kehityksen ja varovaisuusperiaatteen on syytä tarkastella Kalajoen valuma-alueen ympäristökuormitusta. Vuosien 2000–2003

vesienlaatutarkkailussa pääosa alueen järvistä oli välttävässä tilassa. Suurimmat ravinnepitoisuudet mitattiin vuonna 2006 Nivalan Pidisjärven havaintopisteessä (PSV 2006). Tässä tutkimuksessa tarkastellaankin juuri Nivalan ja Haapajärven alueilla sijaitsevan maatalousvaltaisen osavalueen (53.04) kuormitusta. Tutkimusalue on esitetty kuvassa 2.

Tällä alueella maatalouden osuuden fosforikuormituksesta on arvioitu olevan noin 63 % ja typpikuormituksesta noin 60 %. Vuoden 2003 maankäyttötietojen mukaan alueen peltöjen kokonaispinta-ala oli 10027 ha, joka jakaantui noin 350 tilan kesken. Näistä 150 tilalla oli tuotantoeläimiä ja 100 tilalla lypsylehmiä. Noin puolet peltopinta-alasta oli maitokarjatiloiilla ja noin 30 % alasta tiloilla, jotka ilmoittivat tuotantosuunnakseen viljanviljelyyn, erikoiskasvituotannon tai muun kasvintuotannon. Kotieläintilamallin parametrit laskettiin keski-vertoa edustavalle 54 ha:n tilalle, jonka navettakapasiteetti rajoitettiin 30 lypsylehmälle. Kasvintuotantoon erikoistuneiden tilojen keskikoko oli noin 22 hehtaaria, mutta kasvintuotannon tulokset skaalattiin niiden peltopinta-alaosuutta



Kuva 2. Kartta tutkimusalueesta ja peltolohkojen jakautuminen maitokarja- ja viljanviljelytilojen välillä. Punaiset neliöt ovat maidontuotantotiloja ja siniset ympyrät kasvintuotantotiloja. Vaalean vihreät lohkot kuvaavat maidontuotantotilojen ja kellertävät muiden tilojen omistuksessa olevia lohkoja.

vastaavaksi. Tuotantokustannukset parametrisoitiin MTT Taloustutkimuksen tilamalleista ja tuottopehtoorimallilaskelmista. Vehnälle asetettiin tuotannollisesti mielekkään typpilannoituksen alarajaksi 60 kg/ha ja mallasohralle ylärajaksi 90 kg/ha. Peltotöiden osalta on käytetty urakointihintoja. Sekä maataloustuet että hinnat kerättiin vuosille 2003 ja 2007 (Liitteet 1 ja 2), jotta ravinnekuormituksen vähentämisen kustannuksia kyettäisiin vertailemaan sekä aiemmin toteutuneiden että viimeaikaisten trendien välillä.

Kuormitus on laskettu maan fosforitaseen, muokkausmenetelmän, kasvityypin ja lannoituksen funktiona (Helin ym. 2006). Lannan ja keinolannoitteen kuormittavuudessa levitettyä ravinnekiloa kohden ei ole tehty eroa. Alueen typpikuormitus parametrisoitiin mallissa vastaamaan Suomen ympäristökeskuksen vesistökuormituksen arviointi- ja hallintajärjestelmän (VEPS) arvioita. Kasvien ja muokkausmenetelmien väliset suhteelliset kuormituserot perustuvat koko Kalajoen valuma-alueen keskikaltevuuden ja maalajien jakauman mukaisiin ominaiskuormituslukuihin, jotka on laskettu ICECREAM -mallilla käyttäen Nivalan sääaseman vuosien 1997–2007 keskiarvotettua säädataa. Maanmuokkauksen on oletettu vastaavan taloudellista optimia ilman kuormitusta rajoittavia toimia, eli edustavien tilojen optimointitulosten pohjalta perinteistä kyntöä.

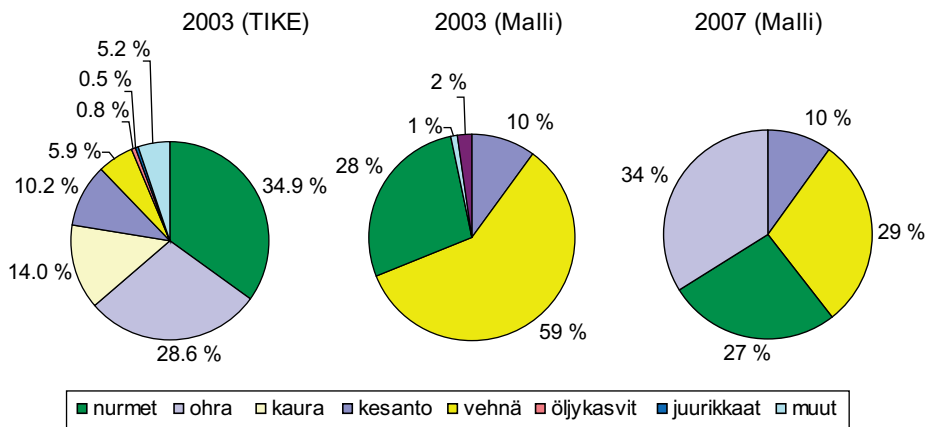
## **3 Tulokset ja tulosten tarkastelu**

### **3.1 Pellon käyttö**

Kuormituksen vähentämisen kustannukset lasketaan taloudellisen optimivoiton ja ravinnekohtaisten rajoitteiden erotuksena (kaavat 1 ja 2). Taloudellinen optimi saavutetaan mallissa kuvan 3 mukaisella pellonkäytöllä. Vertailun vuoksi esitetään vuoden 2003 TIKE-aineiston peltolohkojakauma.

Vuoden 2003 toteutunut pellon jakauma poikkeaa mallin jakaumasta nurmen osalta siksi, että mallissa kasvintuotannon suhteellinen osuus on suurempi kuin aineistossa. Koska mallinnettu pinta-ala kattaa maidon- ja kasvintuotantoon erikoistuneet tilat, on loppujen tilojen joukossa varsinkin lihakarjatiloja, joilla on nurmea. Toinen peltopinta-alan jakautumiseen vaikuttava syy on puolestaan mallin maidontuotannon rakenteessa. Intensiivisessä tuotannossa ostetun rehun osuus on optimissa lähes puolet kokonaisrehun kuiva-ainemäärästä ja säilörehunurmen tuotannossa ei ole suuria hävikkejä. Tällöin voittoa tavoitteleva viljelijä pystyy tuottamaan rehun lisäksi viljaa myyntiin ja samalla saamaan siihen sidottua tuotantotukea.

Viimeaikaiset (12.10.2007, liite 1) hinnat lisäävät mallasohran myynnin kannattavuutta mallissa niin vahvasti, että vehnäntuotanto syrjäytyy kasvintuotan-



Kuva 3. Pellonkäytön jakauma. Alueen peltopinta-ala on jaettu maidon- ja kasvintuotantoon erikoistuneiden tilojen välillä.

toon erikoistuneilla tiloilla. Tällaiset suuret vaihtelut ovat tyypillisiä malleissa, joissa sopeutuminen uuteen hintatasoon tapahtuu viiveettä ja maalajikohtaista soveltuvuutta eri kasveille ei huomioida. Viljojen väliset erot ovat ravinnekuormituksen kannalta kuitenkin suhteellisen pieniä. Maidontuotannossa vehnän ala lisääntyy hieman, sillä sen korkeampi hinta parantaa sen kannattavuutta. Kompensoidakseen näin menetetyt säilörehun viljelijän kannattaa kasvattaa sen typpilannoituspanosta noin 30 kg/ha. Tulosta selittää se, että rehujen hinnan nousu on laskettu viimeisimmän maatalouden panoshintaindeksin mukaisesti (rehun hinta ei ole noussut vielä vastaavalle tasolle viljan viimeisimpien tuottajahintojen kanssa). Mikäli viljojen hinnankorotus siirtyy täysimääräisenä ostorehuihin, vaikutus pellonkäyttöön ja ruokintaan olisi todennäköisesti toisensuuntainen. Hintojen nousun myötä typpilannoitusta kannattaisi kasvattaa kummallakin tilatyypillä. Koska kasvintuotannossa siirryttäisiin uusien hintasuhteiden myötä mallasohran viljelyyn, on lannoitusintensiteetin kasvu vähäisempää kuin vehnän säilyessä tuottavampana viljana. Jos tila ei kuuluisi ympäristötukeen, maidontuotannossa lähes kaikki lietalanta levitetäisiin optimissa vehnälle ja suomensalpietarilisäyksen kanssa tyyppiä tulisi yhteensä noin 140 kg viljeltyä vehnähehtaaria kohden. Vastaavasti fosforia kertyisi noin 22 kg/ha. Ympäristötukijärjestelmä tai uudet panos-tuotos -hintasuhteet eivät aiheuta muutoksia maidontuotantomallin optimaalisessa ruokinnassa, joka perustuu säilörehuun, rypsiin ja mallasmäskiin.

### 3.2 Ravinnekuormitus

Vesistökuormituksen arviointi- ja hallintajärjestelmän (VEPS) ja tämän tutkimuksen optimiratkaisun tuottamat kuormitusluvut tutkimusalueelle on esitetty taulukossa 1. Sää on tutkimuksessa vakioitu, jotta muiden tekijöiden vaiku-



tus kyetään erottamaan vuosittaisten sääolosuhteinen synnyttämästä vaihtelusta. Mallin vuoden 2003 optimiratkaisun typpikuormitustaso on noin 10 % matalampi kuin alueen VEPS -kuormitus. Kokonaisfosforikuormitus on puolestaan tätä verrokkitasoa noin kolmanneksen suurempi. Noin puolet tästä erosta selittyy pellonkäytöllä, sillä nurmen osuus on mallissa vertailutasoa pienempi. Muita selittäviä tekijöitä ovat erot valuma-alueen ja sen osavaluma-alueen keskikaltevuudessa ja maajakaumassa sekä VEPS -arvioon vaikuttava sää. Arvioiden ero on vuosivaihtelun suuruusluokassa. Esimerkiksi vuoden 2004 VEPS -fosforikuormitus oli Kalajoella noin 30% suurempi kuin vuonna 2003. Vuoden 2007 tulokset ovat samansuuntaisia kuin vuonna 2003. Typen osalta viljan hinnan nousu kasvattaa taloudellisesti optimaalista lannoitustasoa ja täten myös kuormitusta. Fosforin osalta juurikkaiden ja perunan syrjäytyminen mallinnetusta pellonkäytöstä vähentää hieman kokonaiskuormitusta.

Taulukko 1. Tutkimusalueen mallinnettu kuormitus (kg/a). Vertailukohtana on käytetty VEPS-lukua vuodelta 2002

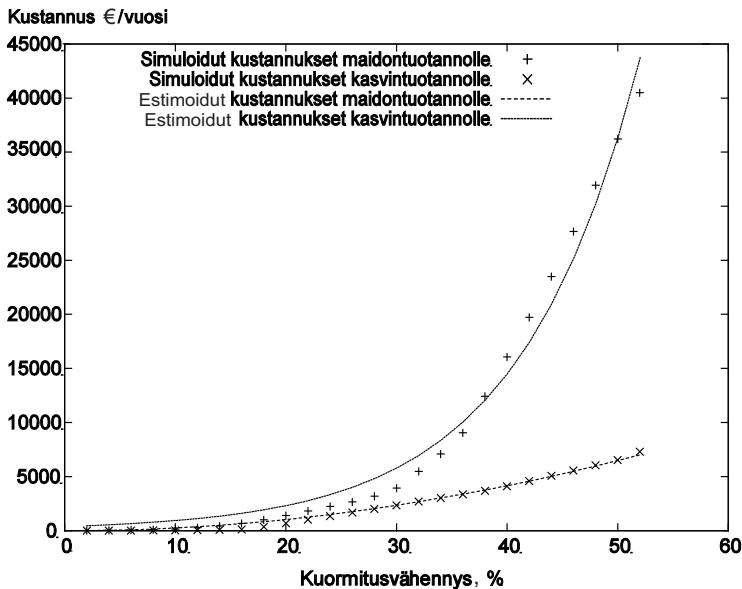
	N-kuormitus (t/a)	P-kuormitus (t/a)
VEPS 2002*	111.8	6.6
Mallioptimi 2003	97.4	9.6
Mallioptimi 2007	108.8	9.5

\*vertailuvuotena käytetään vuotta 2002, sillä 2003 oli poikkeuksellisen kuiva.

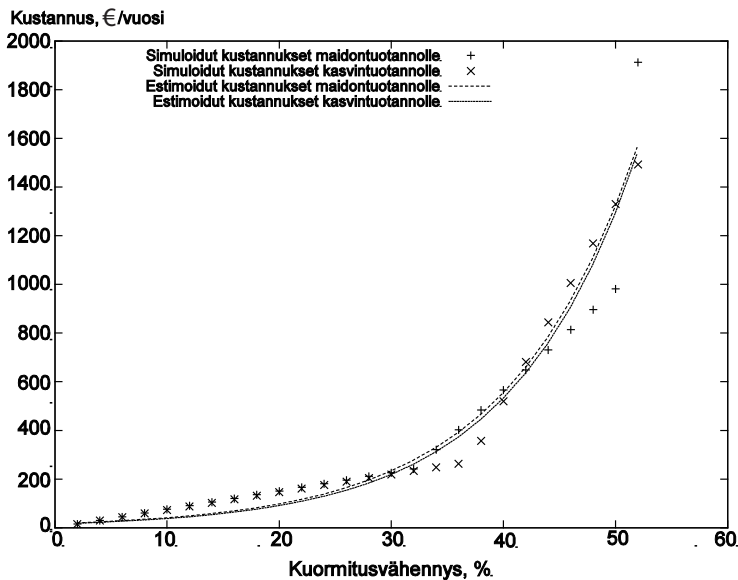
### 3.3 Kuormituksen vähentämisen kustannukset

Vähentämiskustannukset on esitetty typpikuormituksen funktiona kuvassa 4. ja fosforikuormituksen funktiona kuvassa 5. Vasemmassa alakulmassa ravinnekuormitusta ei vähennetä lainkaan ja lähtöpiste on edustavien tilojen ravinnekuormitus optimiratkaisun tuottaman kuormituksen perusteella eli taulukon 1 mukaisesti. Koska peruskuormituksen taso vaihtelee ja tavoitetaso on annettu suhteellisena, esitetään vähennysmäärät prosentteina. Kuormitusta vähennettäessä tilan taloudellinen tulos heikkenee ja näin laskettu kustannus vähennysprosenttia kohden kasvaa. Kustannuksia on simuloitu kahden prosenttiyksikön välein viiteenkymmeneen prosenttiin asti. Liitteessä 3 on esitetty parametrit näistä simuloituista kustannuksista estimoiduille (OLS, sovitetaan pisteiden ja käyrien erotusten neliösummaa minimoimalla) kustannusfunktioille.

Tulosten mukaan typpikuormituksen vähentämisen kustannukset kasvavat merkittävästi vasta kun kuormitusta halutaan rajoittaa voimakkaasti. Simuloidut kustannukset typen vähentämisestä ovat selvästi suuremmat maidontuotannossa kuin kasvintuotannossa, kun vaadittu kuormituksen vähennysprosentti ylittää 30. Maidontuotannossa vähentämisen kustannusta nostaa se, että lannoituksen vähentämistä kompensoidaan ensin korvaamalla vehnäalaa nurmella, sitten muuttamalla lypsämättömän karjan ruokintaa ja lopulta vähentä-



Kuva 4. Typen päästövähennyskustannukset edustavaa tilaa kohden laskettuna. Simuloidut kustannukset on esitetty pisteinä ja niistä estimoidut kustannusfunktiot katkoviivoilla.



Kuva 5. Fosforin päästövähennyskustannukset edustavaa tilaa kohden laskettuna. Simuloidut kustannukset on esitetty pisteinä ja niistä estimoidut kustannusfunktiot katkoviivoilla. Kasvintuotannon kustannuspisteistä on havaittavissa kohta, jolloin siirrytään suorakylvöön ja kustannukset alkavat nousta jyrkemmin.

mällä tilan eläinmäärää. Kasvintuotannossa kustannukset nousevat maltillisesti sillä sokerijuurikkaan ja perunan mielekkäälle typpilannoitukselle ei ole annettu alarajaa. Mikäli alaraja asetettaisiin, ei kovin suuriin vähennyksiin päästä ilman, että tuotanto muodostuu tappiolliseksi. Maidontuotannossa simuloituista kustannuksista estimoitu kokonaiskustannuskäyrä yliarvioi kustannuksia jonkin verran kun vähennysprosentti on alle 38. Kun optimi lasketaan estimoiduista funktioista, vesiensuojelun suuntaviivojen tavoitteiden mukaiseen kuormituksen vähentämiseen (tässä 30 %) kyettäisiin tutkimusalueella tehokkaammillaan vuoden 2003 tilanteessa typen osalta noin 900 000 euron kustannuksella eli 3345 euroa kasvintuotantotilaa ja 4555 euroa maidontuotantotilaa kohden. Tämä on keskimäärin 30 euroa typpikiloa kohden tai noin 90 euroa hehtaaria kohden. Mallioptimi käyrät osoittavat, että kokonaiskustannusten kasvu ei ole lineaarista ja vaatimaton päästövähennys voidaan saavuttaa vielä suhteessa vähäisimmillä kustannuksilla, kun taas tavoitteiden noustessa kustannukset nousevat suhteessa enemmän.

Typen osalta tuloksia voidaan verrata Helinin ym. (2006) tuloksiin, jotka on laskettu Etelä-Suomea edustavalle viljatilalle vuosille 2003 ja 2006. Vuoden 2003 tuloksissa typpikuormituksen vähentäminen hehtaaria kohden kasvitilalla on huomattavasti kalliimpaa Etelä-Suomessa (99 euroa) kuin Kalajoella (192 euroa) kun verrataan 50 % päästövähennyksiä. Tulosten suurta eroa selittävät kasvikohtaiset erot mallinnuksessa ja erilaiset ominaiskuormitusparametrit. Lisäksi Etelä-Suomen mallissa on suojakaistoilla ja -vyöhykkeillä laskettu saavutettavan edullisia vähennyksiä, kun taas tasaisella Pohjanmaalla oletettiin suojakaistojen ja -vyöhykkeiden tehon olevan niin vähäinen, ettei niillä ole merkittävää vaikutusta kuormitukseen.

Funktioista lasketussa kustannustehokkaassa vähennysratkaisussa kummatkin tilatyypit vähentävät typpikuormitustaan. Mikäli alueen kokonaiskuormitusta pyritään vähentämään mahdollisimman halvalla, kannattaa kasvintuotantotilojen vähentää mallitulosten perusteella enemmän kuin kotieläintilojen, sillä kasvintuotantotiloilla typen vähentämisen kustannukset ovat vähäisempiä.

Fosforikuormituksen vähentämisen kustannukset prosenttiyksikköä kohden ovat tyypeä pienemmät. Ne on esitetty samalla periaatteella kuin tyypellekin kuvassa 4. Toisin kuin typen osalta, lannoituksella ei ole kovin merkittävää välitöntä vaikutusta vuotuiseen kuormituspotentiaaliin ja asetelma on erilainen kuin typpikuormituksen vähentämisessä. Keskeistä kustannustehokkaassa kokonaisfosforin vähentämisessä onkin eroosion ja partikkelifosforin hallintaan tähtäävät toimet. Ensimmäiset, suhteessa halvemmat kilot, saavutetaan muokausmenetelmän keventämisellä. Suurempaa vähennysprosenttia tavoiteltaessa kannattaa siirtyä suorakylvöön. Fosforikuormituksen 30 prosentin vähennys tulisi vähimmillään maksamaan valuma-alueella (53.04) noin 51 200 euroa. Tämä vastaa edustavalle maidontuotantotilalle noin 226 euroa ja kasvintuotantotilal-

le 223 euroa eli noin 18 euroa fosforikiloa kohden tai 5 euroa hehtaaria kohden. Kustannustehokkaassa vähennysratkaisussa kummatkin tilatyypit vähentävät fosforikuormitustaan suunnilleen yhtä paljon.

Maidontuotantotilalla on käytössään samat kuormituksen hallintakeinot kuin kasvintuotannossakin, mutta lisäksi se voi muuttaa eläinten ruokintaa. Annetuilla malliparametreilla ruokinnassa ei kuitenkaan kannata tehdä muutoksia ennen tiukkoja, 30 prosentin vähennysvelvoitteita. Tällöinkin ruokinnan muutokset kannattaa kohdistaa lypsämättömään karjaan.

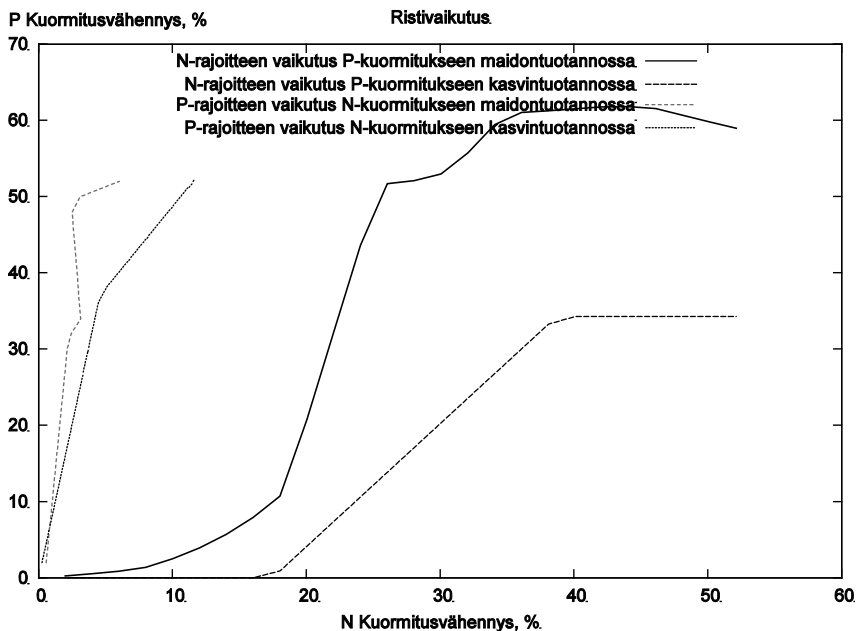
Vuonna 2007 tuotanto-olosuhteet muuttuivat merkittävästi vuoden 2003 tilanteesta. Tilatukijärjestelmän myötä CAP tuki ei enää korota ravinnekuormituksen vähentämisen kustannuksia kasvikohtaisesti, mutta maatalouden tuottajahintojen nousu puolestaan lisää vähennystoimista aiheutuvaa tulonmenetystä. Mallinnustulosten perusteella typpikuormituksen rajoittaminen on entistä halvempaa ja fosforikuormituksen rajoittaminen entistä kalliimpaa. Tulos on yllättävä, sillä pelkästään viljantuotantoa mallinnettaessa voisi odottaa hintojen nousun lisäävän vähennyskustannuksia. Näin ei kuitenkaan käy, sillä myös hintojen keskinäiset suhteet ovat muuttuneet samalla kun tuotannon ohjaus tukipolitiikalla on vähentynyt merkittävästi. Seurauksena on, että uudet panos-tuotos-hintasuhteet johtavat vähemmän lannoitusintensiivisen mallasohran laajamittaiseen tuotantoon mallissa. Kotieläintuottajan, jonka ei oletettu siirtyvän mallasohraan, typpikuormitus puolestaan kasvaa lisääntyvän lannoitteiden käytön myötä. Muutokset johtavat siihen, että vuoden 2007 tilanteessa kasvintuottajien on tehokkaampaa vähentää fosforikuormitustaan kuin maidontuottajien.

Fosforilannoitus vaikuttaa lyhyellä aikavälillä vain vähän kuormituspotentiaaliin. Samalla fosforilannoituksen satovaste on pieni, sillä maan fosforipitoisuus on korkea. Kasvintuotantomallissa keinolannoitefosforia käytetään viljalla noin 1 kg/ha, maidontuotannossa ei lainkaan, vaikka fosforin hinta on laskettu halvimmasta markkinoilla olevasta yhdistelmästä. Yksi keskeinen mallin tulos onkin, että hinta/tukimuutoksista huolimatta fosforilannoitus ei kannata tilalla, jonka fosforiluku on hyvä tai parempi. Tämä tutkimus ei vastaa kysymykseen pitkän aikavälin taloudellisesta optimaalisesta fosforilannoituksesta.

Iho (2007) on tarkastellut fosforilannoituksen taloudellista tasapainotilaa yli ajan. Soveltaen arvioita fosforilannoituksen tarpeesta maan fosforiluvun ylläpitämiseksi, havaitaan, että kotieläintilalle tässä tutkimuksessa laskettu fosforin peltotase (alle 1 kg/ha), ei ole riittävä ylläpitämään pellon fosforitilaa (noin 15 mg/l) (Iho 2007, Saarela ym. 2004, Ekholm ym. 2008). Näin korkea maan liukoisen fosforin pitoisuus ei toisaalta näyttäisi olevan taloudellisesti optimaalista, vaan ainakin ohran osalta 7 mg/l johtaisi pitkällä aikavälillä taloudellisesti perusteltuun tulokseen (Iho 2007). Fosforitilan kehitys maidontuotannossa riippuu paitsi ruokinnasta, myös sovellettavasta luonnontieteellisestä fosforin dy-

namiikkaa kuvaavasta yhtälöstä. Saarelan (1995) mukaan vuotuinen 20 kg/ha on riittävä, kun taas Ekholmin ym. (2005) mukaan vaadittaisiin 7 mg/l fosfori-tilan ylläpitoon 27 kg/ha. Koska tilamallissa lyhyen tähtäimen optimiruokinta johtaa lähelle nollassa, jouduttaisiin pidemmällä aikavälillä fosforia lisäämään keinolannoitteesta tai epäsuorasti ruokinnan kautta taloudellisen optimin saavuttamiseksi. Maan liukoisen fosforin puolittuminen on hidaskas prosessi positiivisella fosforitasella. Fosforiluvun alentuessa ei siis menetä satoa kovin nopeasti, mutta myös ravinnekuormituksen vähentyminen on hidasta.

Kuormituksen vähentämisen kustannukset on esitetty kummallekin ravinteelle erikseen. Näiden lukujen laskeminen yhteen ei johda halvimpaan mahdolliseen ravinnekuormituksen vähentämisen kustannukseen, sillä monilla ravinteiden kuormitusta vähentävillä toimilla on vaikutusta molempiin ravinteisiin. Kuvassa 6 on esitetty vähentämistoimien ristivaikutus maidon- ja kasvintuotantotiloille vuoden 2003 arvoilla.



Kuva 6. Typen rajoittamisen vaikutus fosforikuormitukseen ja fosforin rajoittamisen vaikutus typpikuormitukseen. Typpikuormituksen vähentäminen johtaa merkittävään fosforikuormituksen vähenemiseen muokausmenetelmien keventämisen myötä. Ero tuotantomuotojen välillä johtuu erikoiskasvien mallinuksesta. Mikäli erikoiskasvituotannossa kyetään vähentämään typpilannoitusta sadon laadun merkittävästi tippumatta, ei muokausmenetelmää kannata vaihtaa välittömästi.

Suomen ympäristötukijärjestelmän rooli on tarkastelussa kahtiajakoinen. Toisaalta ympäristötukijärjestelmän vaikuttavuutta konkreettiseen ravinnekuormitukseen ei ole aiemmin arvioitu kuin yleisesti ja sen vaikutuksia 2002/2003 lähtötilanteeseen on vaikea laskea. Toisaalta hehtaariperusteisena maksettu tuki lisää välillisesti kuormituksen vähentämisen kustannuksia yhteiskunnan näkökulmasta. Tehokkaimpien keinojen korostamiseksi aiemmissa tutkimuksissa ympäristötuki on erotettu kustannustehokkuusanalyysistä (Brady 2003, Heilin ym. 2006). Samoin tehtiin tässä tutkimuksessa, mutta lisäksi tarkasteltiin ympäristötukijärjestelmän perusosan lannoitusrajoitteiden ja itse tuen vaikutuksia tilan toimintaan ja talouteen. Ympäristötuen perusosan lannoitusrajoitteilla ei tulosten valossa vaikuttaisi olevan suurta vaikutusta tilan panoskäyttöön. Jos tukea ei maksettaisi, mutta tila noudattaisi uuden ympäristötuen perusosan ja nitraattidirektiivin lannoitusrajoitteita, vähenisi maidontuotantotilan voitto noin 250 euroa vuodessa. Taloudellinen vaikutus on vähäinen huolimatta siitä, että fosforin käyttökelpoisuusprosenttina käytettiin 100 prosenttia ympäristötukijärjestelmän ehdoissa esitetyn 85 prosentin sijaan ja lannassa levitetyle fosforille myönnettyjä poikkeuksia ei huomioitu kuin säilörehunurmen osalta. Kun ympäristötukijärjestelmä mahdollistaa vielä mallin tuloksia matalampien taulukkoarvojen käyttämisen lietelannan fosforipitoisuudelle, on selvää, että ympäristötukijärjestelmän rajoitteiden ohjausvaikutus on edustavalle tilalle olematon.

Mallasohrantuotannossa ei ympäristötukijärjestelmän rajoituksia noudatettaessa voitto vähentynyt lainkaan, sillä sen tyypilannoitukselle oli asetettu ylärajaksi 90 kg/ha. Ympäristötuen perusosa puolestaan kasvatti kasvintuotantotilan saamia tukia noin 2980 euroa ja vastaavasti maidontuotannossa 5400 euroa. Tulovaikutus on edustaville tiloille ilmeinen. Vanhan ympäristötukijärjestelmän perusosan lannoitusrajoitteilla ei mallissa ollut käytännössä lainkaan vaikutusta edustavien tilojen optimivoittoon. Varsinkin karjatilaa koskevassa analyysissä on silti syytä muistaa, ettei lähtötilanne vastaa säätelemätöntä ravinnekuormitusta, sillä mm. lannanlevitysajankohdan määräykset ovat saattaneet vähentää kuormitusta. Nykyinenkin ympäristötukijärjestelmä vähentää kesannon suhteellista kilpailukykyä päästövähennyskeinona, sillä sen saama ympäristötuki on selvästi pienempi kuin viljelyksessä pidettävän pellon.

Mallasohran viljeleminen on uusilla hintasuhteilla vielä vehnäkin kannattavampaa, mutta mallissa käytetty mallasohran tuotantofunktio ei kuvaa riittävästi valkuaispitoisuuden nousua lannoitustason kasvaessa ja yliarvioi tyypilannoituksesta mallasohran viljelyssä saavutettavan hyödyn. Täten mallasohra suljettiin pois tarkasteluista kotieläintilan osalta. Kasvintuotantoon erikoistuneelle tilalle haluttiin säilyttää mahdollisuus myös mallasohran tuotantoon ja epärealistisen korkeiden lannoitustasojen välttämiseksi asetettiin tyypilannoituksen ylärajaksi 90 kg/ha, mikä määrittää tuloksissa lannoitusoptimin. Jatkotutkimuksissa olisi syytä kiinnittää huomiota mallasohran tuotan-

tofunktioon, sillä kustannustehokkaan tyypikuormituksen löytämisessä mallasohra saattaisi olla varteenotettava keino. Mallasohran tuotanto esiintyi nimittäin myös ruokinnallisten tulosten puolella mallasmäskirehun kautta. Vaikkei mäskirehulla päästykään aivan maksimaaliseen maitotuotokseen, sen hinta suhteessa sen sisältämiin ravinteisiin oli niin hyvä, että tilan taloudellinen tulos parani. Samalla myös fosforitase oli pieni. Mallasmäskirehun saatavuuteen, soveltuvuuteen ja mallasohran tuotantoon liittyy epävarmuuksia, minkä vuoksi ruokintaa tarkasteltiin myös ilman sitä. Tällöin taloudellisen optimin mukainen korostunut rypsirookinta nostaa fosforitasetta, muttei kuitenkaan niin korkeaksi, että tilan fosforiluvun ylläpitäminen maitotilalla onnistuisi pelkän karjanlannan varassa.

Lantaketjun kannalta tehokkaimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui kiinteällä katteella varustettu lietesäiliö, joka paitsi vähentää typen hävikkää varastoinnin aikana, myös estää sadevettä sekoittumasta lietesäiliöön. Mikäli katteen vaikutus on huomioitu säiliötä mitoitettaessa, on teoriassa mahdollista säästää myös rakentamalla lietelantasäiliöstä pienempi. Käytännössä tämä on ristiriidassa ympäristöministeriön asettamien normien kanssa, joiden eläinmäärään sidottu säiliön tilavuusvaatimus on suurempi kuin mallissa laskettu lietelannan ja pesuvesien määrä yhteensä. Lietelantasäiliön syvyyden ollessa vakio rakennusnormit lisäävät säiliön pinta-alaa, kattamattomaan säiliöön satavan veden määrää ja kattamisen kustannuksia. Pienempi lantavolyymi säästää myös kuljetus- ja levityskustannuksia.

Levitysteknologiavertailun mukaan mallitilan ei ole taloudellisesti perusteltua panostaa sijoitukseen tai letkulevitykseen, sillä laitteiston vuotuiset pääomakustannukset ylittävät näin säästetyn typen arvon. Levitysmenetelmän vaikutusta lannan ravinteiden huuhtoutumiseen ei kyetty tässä tutkimuksessa ottamaan huomioon, sillä hajalevitetyn lannan multaaminen katsottiin edellytykseksi typen hyödyntämiselle. Mullatun, letkulevitetyn tai sijoitetun lannan ravinteiden ei puolestaan oletettu kuormittavan keinolannoitteita enempää. Normaalioloissa multaamisen kustannukset ovat melko pienet, sillä maanmuokauskalusto kuuluu joka tapauksessa kiinteään pääomaan eikä se juuri kulu multauksessa. Multauksen muuttuvat kustannukset puolestaan ovat pienempiä kuin levitetyn typen arvo, ja täten multaaminen on mallin yksityistaloudellisen optimin mukaista. Kun kotieläintila joutuu mallissa investoimaan lannan varastointiin ja levitykseen, sen kannattaa hyödyntää lannan ravinteet omalla tilallaan.

Ympäristötukiohjelmaan kirjoitettujen lannan fosforia koskevien poikkeuksien takia mallitilan peltohehtaarikohtaiset määrät eivät ylity, vaikka ruokinta onkin väkirehuintensivistä. Tilamallin optimi perustuu poikkeuksellisen vähäfosforiseen ruokintaan. Tällöin kotieläintilan taloudellisissa intresseissä ei ole kuljettaa lantaa alueen kasvintuotantoon erikoistuneilla tiloille ilman korvaus-

ta, joka vähintään kattaisi kuljetus- ja levityskustannukset sekä näin menetetyt tyypin arvon. Kasvintuotantotilalla puolestaan lannan ravinteet olisi saatava halvemmalla kuin vastaavat keinolannoitteet, jotta toiminta olisi taloudellisesti perusteltua. Kun kasvintuotantotila joutuu todennäköisesti käyttämään keinolannoitetyyppiä, muodostavat lannan levitys- ja kuljetuskustannukset ylimääräisen menoerän, joka kasvitilan olisi säästettävä lannoitekustannuksissa. Mikäli tyyppitilojen peltojen tuottavuudessa ei ole eroja, kuten mallissa on oletettu, ei lannalle vaikuttaisi muodostuvan sellaista hintaa, jolla kaupankäynti hyödyttäisi molempia tilatyyppiä.

Mikäli kasvitilan pellot ovat esimerkiksi fosforiluvultaan köyhempiä, on fosforista kasvitilalle suurempi arvo kuin kotieläintilalle, jolloin tämä erotus voidaan käyttää kuljetuskustannusten peittämiseen kannattavasti kummankin osapuolen näkökulmasta. Lannan laskettu optimifosforisisältö on mallissa noin  $2.3 \text{ kg P/m}^3$  ja hajalevittämisen muuttuvat kustannukset olivat noin  $0.3 \text{ euroa/m}^3$ . Kuljetuskustannukset kuutiometriä kohden ovat puolestaan noin  $0.2 \text{ euroa/km}$ . Kun käytetään säästyneitä fosforikeinolannoitekustannuksia kasvintuotantotilan maksuvalmiutena levitykseen ja kuljetukseen, saadaan kannattavaksi kuljetusetäisyydeksi vuoden 2003 hinnoilla noin  $12 \text{ km}$  ja vuoden 2007 hinnoilla noin  $19 \text{ km}$ . Jos levityksen kuluihin lasketaan levityslaitteiston pääomakustannus, nousee levityksen hinta noin  $5 \text{ euroon per fosforikilo}$ . Se, kuinka paljon kasvintuotantotilan kannattaa osallistua pääomakustannuksiin, riippuu kotieläintilan lantavaraston ja kasvintuotantotilan peltolohkojen välisestä etäisyydestä. Tulosten perusteella vaikuttaisi kuitenkin siltä, että  $12\text{--}19 \text{ kilometrin}$  maksimietäisyys ei jätä juurikaan varaa kasvintuotantotilallekin kannattavaan pääomakustannusten jakoon. Sen sijaan kotieläintilojen välinen levityskaluston yhteiskäyttö voisi vähentää lannanlevityksen pääomakustannuksia merkittävästi, kun kahta tai useampaa tilaa varten riittäisi yksi laitteisto. Yhteiskäytön kannattavuuden tutkiminen edellyttää jatkotutkimuksilta tarkempaa spatiaalista analyysiä ja ajallisuuskustannuksien huomioimisesta levityksen yhteydessä.

Kuormituksen vähentämiskustannusten laskeminen mallinnetusta optimiratkaisusta synnyttää joukon ongelmia silloin, kun optimivoitto  $\pi^*_i$  ja sen määrittävät päätösmuuttujat, kuten pellon tai lannoituspanosten käyttö, eroavat havaitusta todellisuudesta. Havaitun lannoituspanoksen ollessa suurempi kuin mallinnetun optimaalisen, on mahdollista, että viljelijä ei syystä tai toisesta ole vähentänyt panoksen käyttöä, vaikka se olisi hänelle taloudellisesti edullista. Tällöin kuormituksen vähennyksen kustannukset ovat halvimmillaan negatiiviset, eli viljelijän taloudellinen tulos paranisi samalla, kun kuormitus vähenisi. Kun kustannukset on laskettu määritelmällisesti optimitasosta, ei tällaisia taloudellisesti kaikkein tehokkaimpia keinoja kyetä arvioimaan ilman erillistarkastelua. Sama erillistarkastelutarve pätee myös siinä tapauksessa, että viljelijät, jotka lannoittavat enemmän kuin mallin optimitulos, tuntevat peltojensa ominaisuu-



det ja satovasteet tarkemmin kuin mallissa on kuvattu. Mallin satovasteet perustuvat alueellisiin keskiarvoihin, joten on mahdollista, että huonokuntoisten lohkojen matalat satotasot painavat alueen keskiarvoa alemmas kuin olisi edustavaa hyvin hoidetulle ja mallia intensiivisemmin lannoitetulle alalle.

Vastaava ongelma lähtötilanteen ja mallin välillä syntyy myös muista tehokkuuseroista. Koska tilamallien voittojen optimitaso nousee yli havaittujen keskiarvotilojen voittojen, on päästöjä vähennettäessä tuotannon rajoittamisen kustannus todellista tasoa suurempi, ja ravinnekuormitukseen vaikuttavien tuotantopanoksien rajatuotoksen yliarviointi voi johtaa kuormituskustannusten yliarviointiin. Kuten lannoituksenkin kohdalla, ei tämän tutkimuksen perusteella voida sulkea pois mahdollisuutta, että kotieläintuotannossa saavutettaisiin tilan taloudellista tulosta parantavia päästövähennyksiä. Esimerkiksi, jos reuhävikkiä kyetään vähentämään, myös lannoitetta tarvitaan samaan tuotokseen vähemmän. Keskivertotilojen tehokkuus on empiirisestikin tuottavimpia tiloja jäljessä. Tässä suhteessa mallin optimiratkaisu vastaa enemmän tanskalaisen kuin suomalaisen tilan käytäntöjä (Sipiläinen 2008). Tehokkuuserojen vaikutuksia päästöjen vähentämiskustannukseen ei kuitenkaan ole tutkittu Suomessa ainakaan systemaattisesti. Tehokkuuden kasvattamisen vaikutusta arvioitaessa on muistettava, että Tanskan kaltaisilla alueilla, joissa tuotanto on tehostunut, ympäristökuormitus on samalla kasvanut.

Koko tilasysteemin mallintaminen päätösmuuttujana osoittautui haasteelliseksi tehtäväksi. Ruokinnallisten päätösten ansiosta lannan ravinnepitoisuus ei ole vakio ja lantaa ei voi käsitellä vain yhden muuttujan avulla. Kun lannan ravinnepitoisuus ja siitä saatava hyöty riippuu ruokinnasta, mutta levityksen kustannukset volyyminä, matemaattisia rajoitteita on muotoiltava ravinnemuuttujien ja tilavuusmuuttujan yhdistämiseksi. Näiden yhtälörajoitteiden ansiosta lannan varastointitapojen ja levitystekniikoiden mallintaminen vaikeutuu kohtuuttomasti. Kun käytännössä ruokinta suunnitellaan maitotiloilla lähinnä ruokintasuositusten perusteella, voi lannan varastointia, kuljetusta ja levitystä mallintaa kaksivaiheisesti siten, että ensimmäisessä vaiheessa optimoidaan ruokinta ja toisessa vaiheessa lannoituspäätökset. Tosin ruokinnallisten keinojen vaikutus ei tällöin heijastuisi yhteiskunnalliseen optimiratkaisuun. Tässä tutkimuksessa käytetyn lähestymistavan vahvuus on juuri ravinnekuormituksen takaisinkytkentä ruokintaan. Ruokinnassa tapahtuvat muutokset kohdentuvat ennen kaikkea tilan ulkopuolisen väkirehun osuuden kasvuun, kun kuormitusta pyritään ruokinnan kautta rajoittamaan.

Tutkimusmetodiin ja sen sovelluskohteeseen liittyvistä ongelmista johtuen kuormituskustannusten arviointiin liittyy paljon epävarmuuksia. Kustannuslukujen esittäminen systeemitasolla havainnollistaa pikemminkin kustannusten suuruusluokkaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä kuin yksittäisellä tilalla tilivuotena 2003 tai 2007 vähentämisestä koituvia kustannuksia. Ilman yksinker-

taistavia oletuksia olisi tuloksia hyvin vaikea yleistää. Täten kaikkia ravinnekuormitukseen vaikuttava toimia ei ole kyetty vertaamaan. Tarkemman kustannusarvion laskemiseksi on tärkeää, että edulliset toimenpiteet ravinnekuormituksen vähentämiseksi on määritetty malliin. Tällöin voitaisiin ottaa kantaa esimerkiksi peltomaan metsittämiseen kuormituksen vähennyskeinona. Kuormituksen määrittävien tekijöiden heterogeenisuudesta seuraa, että mitä harvempia keinoja tarkastellaan, sitä suurempi riski on, että kustannukset yliarvioidaan joillakin alueilla.

On selvää, että tilojen ympäristötuen rajoitteiden toteuttamiseksi tekemät toimet ovat käytännössä kustannuksiltaan erilaisia. Tilakoon kasvaessa keskimääräistä suuremmaksi kiinteille kustannuksille lasketut tuet alkavat kertyä viljelijän tuloiksi. Tulotuki puolestaan pitää heikkotuottoistakin maata viljelyksessä ja täten kasvattaa maatalouden osuutta kokonaiskuormituksesta. Toisaalta laajempi ala tarjoaa mahdollisuuden vähentää tuotannon hehtaarikohtaista intensiteettiä. Nykytukijärjestelmän suurin ongelma lienee siinä, että se ei tarjoa kannustimia vähentää kuormitusta siellä, missä kustannukset olisivat halvimmat tai ravinnekuormituksen aiheuttamat haitat suurimmat.

## 4 Yhteenvedo

Taloudellisen tuloksen maksimoimiseksi lehmien maitotuotosta ei kannata alentaa optimitasosta ravinnekuormituksen vähentämiseksi. Mikäli kuormituksen laajamittainen vähentäminen korottaa väkirehun hintaa, voi optimaalisessa ruokinnassakin tapahtua suurempia muutoksia. Muuten vähennystoimet kannattaa kohdistaa typen osalta lannoitukseen ja fosforin välittömän kuormitusvähennyksen aikaansaamiseksi maan muokkausmenetelmään. Molempien ravinteiden vähentämistä suunniteltaessa on huomioitava vähennystoimenpiteiden vuorovaikutus. Maitotilalla fosforilannoitteen tarpeellisuus pitkällä aikavälillä on kiinni optimaalisesta ruokinnasta, jota määrittävät vallitsevat hinta- ja tuotanto-olosuhteet. Typpikuormitusta rajoittavat toimet voivat nostaa peltojen fosforitasetta ja ylläpitää fosforikuormituspotentiaalia. Lannan ravinnearvo ei riitä kompensoimaan investointeja kehittyneempään lannanlevitysteknologiaan mallitilakohtaisesti, mutta lietelantasäiliön kattaminen osoittautui taloudelliseksi sijoitukseksi. Ympäristötukijärjestelmän perusosan lannoiterajat eivät merkittävästi ohjaa taloudellista voittoa optimoivaa viljelijää vähentämään ravinnekuormitusta.

## 5 Kirjallisuus

Bosch, D.-J., Wolfe, M.-L. ja Knowlton, K.-F. 2006. Reducing phosphorus runoff from dairy farms. *Journal of Environmental Quality*, 35:918–927.

- Brady, M. 2003. The relative cost-efficiency of arable nitrogen management in Sweden. *Ecological Economics*, 47(1):53–70.
- Brooke, A., Kendrick, D., Meeraus, A., Raman, R. ja Rosenthal, R. 1998. *GAMS User's Guide*. Washington.
- Chesapeake\_Bay\_Program 2001. Chesapeake bay program nutrient trading fundamental principles and guidelines. online.
- Drud, A. 2004. *Conopt User Manual*. Denmark.
- Ekholm, P., Turtola, E., Gronroos, J., Seuri, P., ja Ylivainio, K. 2005. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 110:266–278.
- Feinerman, E., Bosch, D. J. ja Pease, J. W. 2004. Manure applications and nutrient standards. *American Journal of Agricultural Economics*, 86:14–25.
- Haataja, K. 1998. *Karjanlannan käytön kannattavuus*, volume 227. Agricultural Economics Research Institute Finland.
- Helin, J. 2007. Model for nutrient abatement on dairy farms. In EAAE Phd workshop. European Association of Agricultural Economists (EAAE). Phd workshop. Economic Research in Food, Agriculture, Environment and Development 4.-5. September 2007. Rennes France. 28 p.
- Helin, J., Laukkanen, M. ja Koikkalainen, K. 2006. Abatement costs for agricultural nitrogen and phosphorus loads: a case study of crop farming in South-Western Finland. *Agricultural and Food Science*, 15.
- Hildén, M., Huhtala, A., Koikkalainen, K., Ojanen, M., Grönroos, J., Helin, J., Isolahti, M., Kaljonen, M., Kangas, A., Känkänen, H., Puustinen, M., Salo, T., Turtola, E. ja Uusitalo, R. 2007. Verotukseen perustuva ohjaus maatalouden ravinnepäästöjen rajoittamisessa. Suomen Ympäristökeskus.
- Huhtanen, P. Four parameter specification of milk yield. Calculated from Finnish dairy cow data. Tiedonanto 16.1.2007.
- Iho, A. 2007. Dynamically and spatially efficient phosphorus policies in crop production. Licentiate thesis, University of Helsinki.
- Innes, R. 2000. The economics of livestock waste and its regulation. *American Journal of Agricultural Economics*, 92:97–117.
- Lehtonen, H. 2001. Principles, structure and application of dynamic regional sector model of Finnish agriculture. PhD thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki.

- Lehtonen, H., Lankoski, J. ja Koikkailainen, K. 2007. Economic and environmental performance of alternative policy measures to reduce nutrient surpluses in Finnish agriculture. *Agricultural and Food Science*, 16:421–440.
- MMM 2003. Hakuopas 2003. online
- MTT 2006. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset (feed tables and feeding recommendations). online.
- NEFCO 2008. Framework for a nutrient quota and credits' trading system for the contracting parties of helcom in order to reduce eutrophication of the baltic sea. online.
- Petrolia, D. ja Gowda, P. 2005. Targeting agricultural drainage to reduce nitrogen losses in a Minnesota watershed. online.
- PSV. Kalajoenvesistötarkkailu 2006. online. PSV Maa ja Vesi Oy.
- Puustinen, M., Koskiaho, J. & Peltonen, K. 2005. Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105:565-579.
- Puustinen, M., Tattari, S., Koskiaho, J. ja Linjama, J. 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Soil and Tillage Research*, 93:44–55.
- Saarela, I. 1995. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977–1994 vuosittain annetun fosforimäärän vaikutus maan viljavuuteen ja peltokasvien satoon monivuotisissa kenttäkokeissa. Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.
- Saarela, I., Jarvi, A., Hakkola, H. ja Rinne, K. 2004. Phosphorus status of diverse soils in Finland as influenced by long-term p fertilization. 2. changes of soil test values in relation to p balance with references to incorporation depth of residual and freshly applied P. *Agricultural and Food Science*, 13:276–294.
- Simmelsgaard, S. E. 1991. Estimation of nitrogen leakage functions - nitrogen leakage as a function of nitrogen applications for different crops on sandy and clay soils, volume 62 of Institute of Agricultural Economics Report. Institute of Agricultural Economic, Copenhagen. English summary., pp. 135–150. Nitrogen fertilizers in Danish Agriculture“ present and future application and leaching”.

- Simmelsgaard, S. E. ja Djurhuus, J. 1998. An empirical model for estimating nitrate leaching as affected by crop type and the long-term fertilizer rate. *Soil Use and Management*, 14:37–43.
- Sipiläinen, T. 2008. Tuottavuuserot pohjoismaisilla maitotiloilla. In Suomen maataloustieteen päivät 2008.
- SVT 2004. Maatilatilastollinen vuosikirja 2004. TIKE.
- Tuhkanen, T., Aho, J. ja Merta, E. 2005. Haja-asutuksen ravinnekuormituksen vähentäminen – Ravinnesampo Osa 2: Maitojuonejätevesien käsittely. Number 763 in Suomen ympäristö. Länsi-Suomen Ympäristökeskus.
- Turtola, E. 1999. Phosphorus in surface runoff and drainage water affected by cultivation practises. PhD thesis, University of Helsinki.
- Uusitalo, R., Ekholm, P., Lemola, R. & Turtola, E. 2008. Fosforikuormitukseen vaikuttavien tekijöiden muutokset ympäristöohjelmakausien aikana. Teoksessa: Turtola, E. & Lemola, R. (toim.) 2008. Maatalouden ympäristötuen vaikutukset vesistökuormitukseen, satoon ja viljelytalouteen v. 200–2006 (MYTVAS 2). *Maa- ja elintarviketalous* 120. 103 s.
- Uusitalo, P. ja Eriksson, C. 2004. Viljanviljelyn perusmuokkausmenetelmien taloudellisuusvertailu (The effect of tillage method on crop yield), volume 60. Agrifood Research Finland, Jokioinen.
- Uusitalo, R. ja Jansson, H. 2002. Dissolved reactive phosphorus in runoff assessed by soil extraction with an acetate buffer. *Agricultural and Food Science in Finland*, 11:343–353.
- Uusitalo, R., Turtola, E., Puustinen, M., Kivekas, M. P. ja Kamppa, J. U. 2003. Contribution of particulate phosphorus to runoff phosphorus bioavailability. *Journal of Environmental Quality*, 32:2007–2016.
- Valtioneuvoston periaatepäätös. 2006. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015. Valtioneuvoston periaatepäätös.
- Vuoristo, H., Kauppila, P., Räike, A., Ekholm, P., Rekolainen, S., Niemi, J., Kii-rikki, M. ja Pitkänen, H. 2002. Vesien tila 1990–2000. Vesiensuojelun tavoiteohjelman väliarviointi. Suomen ympäristökeskus, Helsinki

## 6 Liitteet

Tutkimuksessa käytetyt hinnat

Suure	Yksikkö	2003	2007
maito	€/l	0.36	0.38
liha	€/kg	1.86	1.45
vasikka	(à 60 kg)	110	110
jauhatus	€/kg	0.02	0.02
vehnä	€/kg	0.127	0.235
mallasohra	€/kg	0.135	0.25
ohra	€/kg	0.106	0.195
kaura	€/kg	0.093	0.166
rypsi/rapsi	€/kg	0.237	0.351
säilörehunurmi (1)	€/kg	0.0001	0.0001
heinä(1)	€/kg	0.0001	0.0001
nurmi(1)	€/kg	0.0001	0.0001
tärkkelysperuna (2)	€/kg	0.0357	0.0357
herne	€/kg	0.18	0.18
sokerijuurikas	€/kg	0.054	0.0337
seosvilja	€/kg	0.0995	0.1805
		MÄRE	MÄRE
rehu	€/kg KA	2004	+ 15.6%
kevyt polttoöljy 3)	€/l	0.66	0.66
maa	€/ha	150	150
typpilannoite	€/kg	0.75	0.78
fosforilannoite	€/kg	1.22	2
työ	€/h	12.25	13.05

2003	kyntö	äestys	suorakylvö
		€/ha	
syysvehnä	436	433	423
kevätvehnä	436	433	423
mallasohra	436	433	423
rehuohra	436	433	423
kaura	436	433	423
rapsi/rypsi	436	433	423
säilörehu	382		
herne	436		
peruna	711		
sokerijuurikas	711		
kesanto	166		

Tutkimuksessa käytetyt tukisummat ja ympäristö-tuen rajoitukset

	2003		2007		
	Maito	Kasvi	Maito	Kasvi	
Tilatuki			152.7	152.7	
LFA täydennyksineen	210	210	310	220	
Ympäristötuki, perusosa	117	93	107	107	
Nuoren viljelijän tuotantotuki	27	27	36	36	
Pohjoinen viljelyn hehtaarituki	34	34	30	30	
	CAP	Kansalliset peltotuet			
syysvehnä	189	105	105	60	60
kevätvehnä	189	105	105	60	60
mallasohra	189	84	84	70	70
rehuohra	189	9	9	0	0
kaura	189	9	9	0	0
rapsi/rypsi	189	67	67	0	0
säilörehu	145	95	0	0	0
herne	167	9	9	0	0
peruna	707	168	168	133	133
sokerijuurikas	0	250	250	80	80

<sup>1)</sup> Kuivaustuki tässä pinta-ala perusteisena 43.7 €/ha (Suomen maatalous 2003)

<sup>2)</sup> Sokerijuurikkaan tuki huomioitu hinnassa

Mallissa käytetyt ravinteiden ylimmät sallitut käyttömäärät

	N		P	
	2003	2007	2003	2007 <sup>1)</sup>
syysvehnä	120	110	15	8
kevätvehnä	100	110	15	8
mallasohra	90	90	15	10
rehuohra	90	90	15	10
kaura	90	90	15	5
rapsi/rypsi	100	100	15	8
säilörehu	180	200	30	30
herne	90	100	15	10
peruna	80	105	40	35
sokerijuurikas	120	140	30	26
kesanto	0	0	0	0

<sup>1)</sup> Koska maidontuotantotilan ei kannattanut lisätä väkilannoitefosforia lainkaan niin paitsi säilörehulle myös muille maidontuotantotilan lohkoille oikea rajoite olisi karjanlannalle poikkeuksen mukainen 15 kgP/ha.

Kustannusfunktioiden parametrit

Fosforin vähentämisen ( $A^P$ ) kustannusfunktioiden parametrit maidontuotantotilalle M ja kasvintuotantotilalle K.

$$C(A_M^P) = \alpha e^{A\beta}$$

$$C(A_K^P) = \alpha e^{A\beta}$$

		2003	2007
Kasvi	$\alpha$	17.179	39.171
Maito	$\alpha$	15.216	56.838
Kasvi	$\beta$	0.211	0.156
Maito	$\beta$	0.207	0.198

Typen vähentämisen ( $A^N$ ) kustannusfunktioiden parametrit maidontuotantotilalle M ja kasvintuotantotilalle K.

$$C(A_M^N) = \alpha e^{A\beta}$$

$$C(A_K^N) = \alpha A^2$$

		2003	2007
Kasvi	$\alpha$	0.345	0.220
Maito	$\alpha$	366.309	115.006
Kasvi	-	-	-
Maito	$\beta$	0.015	0.014



# Fosforikierron biologinen säätövara ja sen vaikutus maatalouden fosforikuormitukseen

Riitta Lemola<sup>1)</sup>, Jouni Nousiainen<sup>2)</sup>, Pekka Huhtanen<sup>3)</sup> ja Eila Turtola<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>2)</sup>MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Biotekniikka- ja elintarviketutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

<sup>3)</sup>MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Kotieläintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

## Tiivistelmä

Kuinka paljon ja kuinka nopeasti maatalouden aiheuttama vesistöjen fosforikuormitus voisi vähentyä, jos tuotannon kannalta tarpeeton fosforin käyttö lopetettaisiin? Potentiaalista kuormitusvähennystä arvioitiin ottamalla huomioon viljelykasvien ja kotieläinten biologinen fosforitarve sekä maaperän tämänhetkinen fosforipitoisuus. Suomen maatalouden fosforikierron säätövara laskettiin kahdenkymmenen vuoden ajalle käyttämällä lannoitustarpeen pohjana äskettäin tehtyä yhteenvetoa Suomen fosforilannoituskokeiden tuloksista. Arvio tehtiin koko maan lisäksi erikseen Varsinais-Suomen, Pohjanmaan ja Uusimaan TE -keskusalueille. Laskennassa huomioitiin kasvien fosforinotto, pellon fosforitase ja siitä edelleen peltojen helppoliukoisen fosforin pitoisuusmuutokset pitkäaikaisten lannoituskokeiden tuloksiin perustuvilla yhtälöillä. Lannoitusta säädettiin fosforipitoisuuden muutoksia vastaavasti viiden vuoden välein. Koska suuri osa kasvien tarpeen ylittävstä fosforilannoituksesta liittyy karjanlannan käyttöön, myös kotieläinten ruokinta ja sen säätövara vaikuttavat mahdollisuuksiin vähentää tarpeettoman korkeita maaperän fosforipitoisuuksia. Tämän vuoksi työssä arvioitiin ruokinnalliset mahdollisuudet pienentää lannan fosforisisältöä. Tuloksena saatiin aluekohtaisesti fosforilannoitustarve, karjanlannan fosforisisältö ja eri ajankohtia (5, 10, 15 ja 20 vuotta) vastaava maan helppoliukoisen fosforipitoisuuden jakauma, josta arvioitiin edelleen liukoisen fosforin kuormitusta yksinkertaisen yhtälön avulla. Laskelma osoitti, että fosforilannoituksen kokonaismäärä ylitti vuonna 2005 biologisen tarpeen koko Suomessa yli nelinkertaisesti ja Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan alueilla yli kymmenkertaisesti. Jos lannoitus säädettäisiin kasvien tarpeen mukaiseksi, Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan pelloille ei levitettäisi väkilannoitefosforia lainkaan seuraavien 20 vuoden aikana ja näiltä alueilta kuljetettaisiin koko ajan pois karjanlannan fosforia. Ruokintaa säätämällä kotieläinten sonnan ja virtsan fosforisisältö pienenesi yli kymmenen prosenttia. Kahdessakymmenessä vuodessa säästyisi 49 % fosforilannoitusmäärästä verrattuna siihen, että fosforin käyttö jatkuisi vuoden 2005 tasolla. Väkilannoitefosforin osalta säästö olisi 90 %. Liukoisen fosforin kuormitus vähenisi kahdessakymmenessä vuodessa 30–40 %, eniten Varsinais-Suomessa ja Pohjanmaalla.

---

*Avainsanat: Fosforilannoitus, karjanlanta, kotieläintalous, maan fosforiluku:*

---

# Biologically adjusted P cycle as a measure to reduce P losses from Finnish agriculture

Riitta Lemola<sup>1)</sup>, Jouni Nousiainen<sup>2)</sup>, Pekka Huhtanen<sup>3)</sup> ja Eila Turtola<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, FI-31600 Jokioinen, Finland, [firstname.lastname@mtt.fi](mailto:firstname.lastname@mtt.fi)

<sup>2)</sup>MTT Agrifood Research Finland, Biotechnology and Food Research, FI-31600 Jokioinen, Finland, [firstname.lastname@mtt.fi](mailto:firstname.lastname@mtt.fi)

<sup>3)</sup>MTT Agrifood Research Finland, Kotieläintuotannon tutkimus, FI-31600 Jokioinen, Finland, [firstname.lastname@mtt.fi](mailto:firstname.lastname@mtt.fi)

## Abstract

What would be the potential reduction in phosphorus (P) losses from cultivated fields, if P was applied in Finnish agriculture according to the actual, biological need of plants and livestock? We estimated the decrease in P transport by taking account the current P status of cultivated fields. The adjusted P cycle for Finnish agriculture was calculated for twenty years onwards using yield responses to P fertilization according to a recent overview of P fertilization experiments in Finland. The estimation was done for the whole country and different smaller regions having either intensive animal production (Varsinais-Suomi, pig and poultry; Pohjanmaa, dairy cattle and fur production) or mainly plant production (Uusimaa). We considered plant P uptake, P balances and consequent changes in soil P status, the latter being estimated according to equations from long-term fertilization trials. Fertilization was adjusted in five-year intervals along with changes in soil P status. As manure application is often an important factor behind over-use of P, we further quantitatively estimated possibilities to reduce P content of manure by adjusting livestock diets. The calculations resulted in biologically justified, areal-based P fertilizer requirements, P contents in manure and P status of soil after 5, 10, 15 and 20 years. The potential of dissolved P losses from soils was estimated from soil P status using a simple equation. According to the calculation, the amount of P fertilization at the starting point (in 2005) was over 4-fold compared to the actual need of cultivated plants, and in areas of intensive animal production even higher, more than 10-fold. If P fertilization was adjusted according to the biological response, no P in chemical fertilizers would be applied and a substantial amount of manure would be transported out of the latter areas during the next twenty years. If the livestock diets were adjusted towards minimum P contents, P amount in animal manures would decrease by 12%. In twenty years, 49 % of P applied to fields would be saved compared to situation where P fertilization would continue as in 2005. For chemical P fertilizers, the saving would be 90%. Meanwhile, the transport of dissolved P into surface waters from the cultivated soils would decrease by 30–40 %, most in areas of intensive animal production, which contribute to the water quality of Archipelago Sea and Bothnian Bay.

---

*Key words: Livestock, manure, P fertilization, soil P status*

---

# 1 Johdanto

Maatalouden aiheuttaman fosforikuormituksen tärkein taustatekijä Suomessa on fosforilannoituksella aikaansaatu peltojen suuri helppoliukoisen fosforin pitoisuus. Saarelan (2002) mukaan 1930-luvulta lähtien kyntökerrokseen on kertynyt fosforia 800–900 kg/ha, mikä on nostanut sen kokonaisfosforipitoisuutta kolmanneksella. Peltojen keskimääräinen helppoliukoisen fosforin pitoisuus nousi 1960 -luvun tasolta 5 mg/l nykyiselle tasolle 12–14 mg/l, samalla kun fosforilannoitus ylitti sadon fosforin oton 1950 -luvulta lähtien ollen suurimmillaan 1970 -luvulla (Uusitalo ym. 2007, Antikainen ym. 2008). Väkilannoitus alkoi tämän jälkeen vähentyä, eniten 1990 -luvun aikana, mutta karjanlannan sisältämän fosforin määrä pysyi samassa suuruusluokassa koko ajan. Uusitalon ym. 2007 mukaan maan fosforipitoisuuden 50 vuotta kestänyt nousu olisi 1600 maanäyteteaineiston ja mallilaskelmien perusteella arvioiden taittunut vasta vuosituhanen vaihteen jälkeen.

Peltojen helppoliukoisen fosforin pitoisuus on tällä hetkellä suurella osalla peltoalasta korkeampi kuin viljelykasvit tarvitsevat. Vaikka fosforilannoitus on viimeisten 15 vuoden aikana voimakkaasti vähentynyt, lannoitus on edelleen monilla alueilla ylimitoitettu ja tämä ylläpitää peltojen korkeaa fosforipitoisuutta (Uusitalo ym. 2007). Maan fosforipitoisuudessa on myös huomattavia alueellisia eroja (MMM 2004, Uusitalo ym. 2007, Mattila ym. 2007, [www.tuloslaari.fi](http://www.tuloslaari.fi)), jotka ovat syntyneet erilaisten fosforilannoituskäytäntöjen seurauksena. Uusitalon ym. (2007) tekemä MYTVAS -haastattelualueiden fosforilukujen lajittelu päätuotantosuunnan mukaan osoitti, että erikoiskasvintuotannossa maiden viljavuusfosforiluvut olivat yli kaksinkertaiset viljanviljelytilojen verrattuna. Myös lypsykarjataloutta ja muuta kotieläintaloutta harjoittavien tilojen fosforiluvut olivat korkeammat kuin viljanviljelytiloilla. Sama tutkimus myös osoitti, että fosforitaseet ovat edelleen suuria niillä alueilla, joilla maan fosforiluvut ovat korkeita. MYTVAS -tutkimuksen haastattelualueilla fosforilannoitus oli 19–25 kg/ha niillä peltolohkoilla, joiden lannoituksessa käytettiin karjanlantaa ja väkilannoitteita, ja noin 10 kg/ha niillä alueilla, joilla käytettiin vain väkilannoitteita (Mattila ym. 2007).

Suomen fosforilannoituskokeiden mukaan fosforilannoitus tuottaa merkittävän sadonlisän vain, jos maan fosforiluku on tyydyttävää viljavuusluokkaa alempi (Valkama ym. 2009). Tällä hetkellä suurin osa maatalousmaista on fosforitilaltaan sellaisia, ettei fosforilannoitus todennäköisesti anna mitattavissa olevaa saotavastetta. Jos kasvit lannoitettaisiin niiden todellisen tarpeen mukaisesti, käytettäisiin siis pääasiassa maahan kertyneitä fosforireservejä, jolloin fosforitase muodostuisi suurimmalla osalla pelloista negatiiviseksi.

Fosforitaseen vaikutusta helppoliukoisen fosforipitoisuuden muutoksiin voidaan arvioida empiirisillä yhtälöillä (Saarela ym. 2004, Ekholm ym. 2005), jot-

ka osoittavat, että negatiivinen fosforitase alentaa viljavuusfosforilukua ja aleneminen on nopeinta silloin, kun fosforiluku on korkea. Myös nollatase ja lievästi positiivinenkin fosforitase alentavat fosforilukua, mutta vaikutukset ovat hitaampia. Koska maan fosforiluku vaikuttaa liukoisen fosforin huuhtoutumiseen (Turtola ja Yli-Halla 1998, Uusitalo ja Jansson 2002, Uusitalo ja Aura 2005), fosforilannoituksen korjaaminen kasvien tarpeen mukaiseksi laskee vähitellen liukoisen fosforin kuormitusta.

Tässä työssä arvioitiin kolmen eri lannoituskäytännön vaikutus maan fosforilukuun ja liukoisen fosforin kuormitusriskiin koko Suomen ja Uudenmaan, Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan TE-keskusten alueilla kahdenkymmenen vuoden aikana. Laskennassa arvioidut lannoituskäytännöt olivat kasvien todellisen tarpeen mukainen fosforilannoitus (Valkama ym. 2009), kasvien fosforinoton suuruinen lannoitus (ns. nollatase) ja ympäristötuen ”vähennetty lannoitus” -lisätoimenpiteen mukainen lannoitus. Lannoitusta muutettiin viisivuotiskausittain maan fosforiluvun muutosten mukaisesti ja samalla laskettiin kokonaislannoitustarve kahdenkymmenen vuoden ajalle. Vallitsevaa tilannetta kuvaamaan määritettiin nykyinen fosforitase vuoden 2005 tilastotietojen pohjalta.

Koska kotieläintuotannon keskittymisalueilla lannan fosforisisältö on suurempi kuin kasvien fosforitarve, laskettiin myös ruokinnan säätämisen vaikutus lannan fosforisisältöön. Karjanlannan ja lihaluujauhon sisältämän fosforin käyttökelpoisuusarviot otettiin tämän loppuraportin muiden osatutkimusten tuloksista. Tässä työssä käytettiin siten hyväksi viimeisin tutkimustieto, tehtiin kokonaisvaltainen yhteenveto Suomen maatalouden fosforikierron säätövarasta sekä arvioitiin säädön vaikutus fosforilannoitusmäärään, peltojen fosforilukuihin ja maatalouden fosforikuormitukseen.

## **2 Fosforikierron biologinen säätövara**

### **2.1 Eläinten lannan fosforisisältö**

Eläinryhmäkohtainen fosforin erityis sontaan ja virtsaan laskettiin taseperiaatteella, jossa fosforin erityis saatiin vähentämällä rehujen fosforisisällöstä eläintuotteisiin ja eläinten kasvuun pidättyvän fosforin määrä. Menetelmää ovat soveltaneet tyypitaseiden laskentaan Smith ja Frost (2000) ja Smith ym. (2000). Poikkeamat tästä laskentamenetelmästä on mainittu kyseisen eläinlajin kohdalla. Ruokintasuositukset otettiin rehutaulukoista (MTT 2006) ja fosforin ylijäämän rajoitusarviot tehtiin niin, ettei ruokinnan tuotosvaikutus muuttunut. Eläinten ruokinnan säätömahdollisuudet arvioitiin siis niin, että lannan fosforisisältö saataisiin mahdollisimman pieneksi tuotannon pysyessä muuttumattomana. Tärkeimmät tietolähteet laskennoissa olivat maataloustilastot (Tike 2005), joissa on ilmoitettu kotieläinten lukumäärät, lihan, maidon ja munien

kokonaistuotanto, teuraspainot sekä eläinkohtaiset maidon ja munien tuotantomäärät samoin kuin turkiseläinten nahkatuotos. Hevosten määrät saatiin Suomen Hippos ry:n tilastoista (Kaisa-Maria Pitkäpaasi, 10.9.2008), joissa ne on luokiteltu kunnittain omistajan asuinpaikan mukaan.

Lypsylehmien rehunkulutuksen ja rehun fosforipitoisuuden arviointi perustui tuotosseurannan rehunkulutustietoihin. Fosforiylijäämän alentamismahdollisuus arvioitiin poistamalla fosforikivennäiset, vaihtamalla täysrehu viljaksi ja puolittamalla valkuaisrehun määrä. Emolehmillä fosforin saanti arvioitiin ruokintakokeiden (Manninen 2007) ja esimerkkiruokintojen perusteella (Komulainen 1997). Vähennys laskettiin jättämällä ruokinnasta pois kivennäisfosfori. Vasikoilla, hiehoilla ja sonneilla fosforin saanti laskettiin ruokintasuositukseen perustuvan rehunkulutuksen ja tuotosseurantatietojen rehunkulutusjakauman pohjalta. Rehunkulutuksen arvioimiseksi kasvukäyrät iteroitiin teuraspainolla estimoitujen elopainojen perusteella. Kasvukäyrän painon ja kasvun avulla voidaan laskea päivittäinen rehuyksikkötarve. Hiehot eriteltiin uudistukseen ja teuraseläimiksi kasvatettaviin. Sonneilla ja hiehoilla fosforialennus laskettiin poistamalla kivennäisfosfori ja valkuaisrehut, vasikoilla vaihtamalla täysrehu viljaksi.

Hevosten syömän fosforin määrä arvioitiin ruokintasuositusten ja esimerkkiruokintojen (Saastamoinen ja Teräväinen 2007) pohjalta. Suomen Hippoksen tilastoista arvioitiin laskennoissa tarvittavat hevosten laji- ja käyttöryhmittäiset jakaumat. Hevoskohtainen fosforieritys laskettiin vähentämällä koko hevospopulaation keskimääräisestä vuosittaisesta fosforin saantimäärästä keskimääräinen poistettujen hevosten (7 % hevoskannasta) sisältämä fosfori. Laskelma on epätarkka, koska alueittainen hevosten rotu- ja käyttöjakauma ei ole tiedossa. Tämän vuoksi ei myöskään laskettu fosforinerityksen säätövaraa.

Sikojen laskentamenetelmä on lähellä Fernándezin ym. (1999) esittämää menetelmää. Eläintilastojen lisäksi tietoja saatiin FABA jalostuksen ja maaseutukustien porsastuotannon tuotosseurannasta. Lihasikojen nykytilanteen mukainen fosforin saanti arvioitiin ruokintasuositusten mukaisesti (keskiarvot leikko/seka-kasvatus + kaksi/kolmirotuporsaat + yksi- kaksivaiheruokinta). Säättömahdollisuus syntyy kolmivaiheruokintaan siirtymisestä. Siitossikojen ja alle 20 kg:n porsaiden rehun fosforipitoisuutta ei voi alentaa suosituksista ilman haitallisia vaikutuksia luuston kehittymiseen ja hedelmällisyyteen.

Lampaiden kohdalla fosforin saanti perustui tuotosseurannan tuloksiin, ruokintasuositukseen (MTT 2006) ja esimerkkiruokintoihin (Savolainen ja Teräväinen 2000). Koska todellisen tilanteen arviointi on vaikeaa vaihtelevien tuotantojärjestelmien ja puutteellisten lähtötietojen vuoksi, säätövaraa ei pystytty laskemaan.

Siipikarjalla rehun fosforimäärä perustui rehuhyötysuhteeseen, mistä saatiin tietoja kaupallisilta jalostajilta ja kotimaisista ruokintakokeista. Rehun fosforipitoi-

suuksina käytettiin sekä ruokintasuositusten että kaupallisten rehunvalmistajien tietoja. Munivilla kanoilla on MTT:n tutkimusten (Valkonen 2008) perusteella mahdollisuus alentaa loppumuninnan aikaista rehun fosforipitoisuutta, mutta kasvavilla linnuilla pitoisuutta ei voi alentaa ilman haittavaikutuksia.

Turkiseläimillä käytettiin uusimpia arvioita rehun käyttömääristä tuotettua nahkaa kohti, samaa kuin Rekilän ym. (2009) tutkimuksessa. Rehun fosforipitoisuudet arvioitiin kuukausittaisten rehuanalyysien perusteella Turkistalous -lehden vuosien 2005 ja 2006 numeroista. Fosforin säätövara oli sama kuin Rekilän ym. (2009) arvioissa. Edellä selostetulla tavalla laskettu kotieläinten lannan nykyinen fosforisisältö eläin- tai eläinpaikkakohtaisesti (turkiseläimillä nahkaa kohti) esitetään Taulukossa 1. Lannan fosforisisällön potentiaalinen pienennys voitiin arvioida nautakarjalle, lihasioille, muniville kanoille ja turkiseläimille (Taulukko 1). Jos esimerkiksi lypsylehmillä haluttaisiin saavuttaa vielä pienempi lannan fosforimäärä, taloudellinen tulos alkaisi heikentyä.

Taulukko 1. Eläinten sonnan ja virtsan nykyinen fosforisisältö vuodessa ja ruokintakäytäntöjä muuttamalla potentiaalisesti saavutettava pienempi fosforisisältö.

Eläin	Nykyinen P-määrä, kg/vuosi	Ruokinnan avulla säädetty P-määrä kg/vuosi
Lypsylehmä	16,30	13,80
Emolehmä	10,51	9,51
Sonni, yli vuoden	9,80	8,40
Hieho	6,72	6,03
Sonnivasikka, alle vuoden	4,90	4,50
Lehmävasikka, alle vuoden	3,70	3,33
Karju, yli 50 kg	5,37	
Emakko, yli 50 kg	6,57	
Lihasika, yli 50 kg, eläinpaikka	4,13	3,56
Sika, 20–50 kg, eläinpaikka	1,12	
Porsas, alle 20 kg, eläinpaikka	0,37	
Muniva kana	0,205	0,170
Kananpoikanen	0,097	
Kukko	0,253	
Broileri, eläinpaikka	0,080	
Kalkkuna	0,347	
Muu siipikarja	0,24	
Uuhi, yli 12 kk	1,9	
Uuhi, alle 12 kk	1,9	
Muu lammas	1,55	
Vuohi	1,62	
Hevonen	9,28	
Minkki tai hilleri, nahkaa kohti	0,28	0,24
Kettu tai supi, nahkaa kohti	0,75	0,53

Taulukosta 2 näkyy eläinten fosforiruokinnan säätämisen potentiaalinen vaikutus lannan fosforisisältöön koko Suomessa ja eri alueilla. Arvion mukaan ruokintaa säätämällä lannan fosforimäärä voisi pienentyä koko Suomessa noin 12 %. Yksittäisillä tiloilla ja TE-keskusalueita pienemmillä alueilla vaikutus voisi olla huomattavasti suurempikin riippuen lähtötilanteen ruokinnasta.

Taulukko 2. Koti- ja turkiseläinten ruokinnan säädön vaikutukset sonnan ja virtsan sisältämään fosforimäärään koko Suomessa ja kolmella TE-keskusalueella.

Alue	Nykyinen P-määrä	Ruokinnan avulla säädetty P-määrä
	milj. kg/vuosi	milj. kg/vuosi
Suomi	16,49	14,50
Uusimaa	0,48	0,43
Varsinais-Suomi	1,88	1,70
Pohjanmaa	2,90	2,61

## 2.2 Fosforitase vuonna 2005

Fosforikierron nykytilanteen määrittämiseksi laskettiin peltojen keskimääräinen fosforitase vuoden 2005 tilastotietojen perusteella koko Suomen sekä Uusimaan, Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan TE-keskusalueille. Laskelmassa otettiin huomioon väkilannoitteiden käyttö, kotieläinten erittämän fosforin määrä sekä kasvien fosforin otto.

Tilastoidun kokonaissadon (Tike 2005) ja sadon fosforipitoisuuden avulla saatiin sadon mukana poistuneen fosforin määrä. Sadon fosforipitoisuuden arvoina käytettiin tärkeimmille viljelykasveille OECD:n fosforitaselaskelman fosforipitoisuuksia ja puutarhakasveille Kansanterveyslaitoksen Fineli® – tietopankin (<http://www.finel.fi/>) tietoja.

Lannoituskäyttöön soveltuvan lihaluujauhon muodostumismääristä saatiin tietoa Honkajoki Oy:ltä. Lihaluujauhon fosforipitoisuutena käytettiin 5 %, ja fosforista laskettiin kasveille käyttökelpoiseksi 60 %, kun turkiseläinten ja muiden kotieläinten lannan sisältämän fosforin käyttökelpoisuusprosentteiksi arvioitiin 75 % ja 100 % (Ylivainio ja Turtola 2009).

Myös ihmisen ulosteiden sisältämä fosforimäärä laskettiin koko Suomen ja valittujen TE –keskusten alueille vuoden 2005 tilastotiedoista (Tilastokeskus 2007b). Ulosteiden sisältämänä fosforimääränä käytettiin 0,6 kg/vuosi (Weckman 2000, Neset ym. 2008, Kansanterveyslaitos 2007). Maataloudessa käytettävän asumajätevesilietteen määrä saatiin Ympäristötilastosta (Tilastokeskus 2007a) ja sen fosforipitoisuus OECD:n fosforitaselaskelmasta (<http://webdominol.oecd.org/comnet/agr/nutrient.nsf>). Ympäristötuen sitoumusehtojen mu-

kaan puhdistamolietteen sisältämästä fosforista 40 % lasketaan kasveille käyttökelpoiseksi. Viheraari (2003) arvioi kolmelta puhdistamolta otettujen näytteiden perusteella, että noin 20 % puhdistamolietteen sisältämästä fosforista oli kasveille käyttökelpoisessa muodossa (tutkittujen 48 lietenäytteen sisältämästä fosforista oli vesiliukoista 1,55–32,81 %). Mäkelä-Kurton (2001) tutkimuksessa sahanpurun ja turpeen kanssa kompostoidun puhdistamolietteen (jokaisesta komponentista yksi kolmannes) kokonaisfosforista uuttui happamaan ammoniumasetaattiin 1 %. Jokisen (1989) tutkimuksessa erilaisilla kemikaaleilla saostettujen lietteiden sisältämästä kokonaisfosforista korkeintaan 1 % uuttui happamaan ammoniumasetaattiin. Poikkeuksena olivat kalkkistabiloitu Fe-liete ja Ca-liete, joiden fosforista liukoista oli 7 ja 33 %. Tässä yhteydessä asumajätevesilietteen sisältämän fosforin käyttökelpoisuutena kasveille käytettiin 20 %. Taselaskelmissa vuodelle 2005 ei kuitenkaan otettu huomioon pelloille levitetyn puhdistamolietteen kokonaisfosforisisältöä (Tilastokeskus 2007a), joka oli noin 0,4 milj. kg.

Väkilannoitefosforin käyttömäärä saatiin Maatilatilastollisesta vuosikirjasta (lannoitusvuosi 2004/2005, Tike 2005). Alueelliset väkilannoitefosforin käyttömäärät arvioitiin Kemira Grow How:n ilmoittamista lannoitusvuoden 2004/2005 alueittaisista (maaseutukeskus) myyntimääristä sekä Maatilatilastollisen vuosikirjan koko maan väkilannoitefosforin myyntimääristä. Kemira Grow How:n tietojen pohjalta laskettiin väkilannoitefosforin käyttömäärä viljeltyä peltohehtaaria kohti, kerrottiin tämä määrä TE-keskuksen viljellyllä peltoalalla, ja saatiin väkilannoitteiden käyttömäärä kyseisellä TE-keskusalueella. Tuontifosforin määrä, joka saatiin Maatilatilastollisen vuosikirjan ja Kemira Grow How:n kokonaismyyntimäärän erotuksena (noin 3,8 % kokonaiskäytöstä), jaettiin tasaisesti Suomen viljellyille pelloille.

Edellä selostetulla tavalla laskettu, vuoden 2005 tietoihin perustuva fosforitase on esitetty Taulukossa 3. Lannan fosforisisällöissä otettiin huomioon kasveille käyttökelpoisen fosforin määrä ja 80 % turkiseläinlannasta arvioitiin muodostuvan Pohjanmaan TE -keskuksen alueella.

Taulukko 3. Fosforitase vuonna 2005 koko Suomessa ja kolmella TE -keskusalueella.

		Suomi	Uusimaa	Varsinais-Suomi	Pohjanmaa
Väkilannoitus	milj. kg	18,32	1,42	2,83	1,58
Kotieläinlanta	milj. kg	14,98	0,48	1,88	1,69
Turkiseläinlanta	milj. kg	1,51			1,21
Yhteensä	milj. kg	34,81	1,90	4,71	4,48
	kg/ha	17,5	11,9	18,1	24,9
Sato	milj. kg	24,03	1,89	3,43	2,31
Tase	milj. kg	10,78	0,01	1,28	2,17
Viljelyala	1000 ha	1993,4	160,2	260,6	179,9
Tase	kg/ha	5,4	0,1	4,9	12,1



Fosforitase oli koko maassa keskimäärin ylijäämäinen, ja kasveille annettiin fosforia enemmän kuin ne ottivat sitä maasta. Taseessa oli kuitenkin suuria alueellisia eroja, ja esimerkiksi kasvintuotantovaltaisella Uusimaalla kasvien fosforin otto ja lannoitus olivat lähellä tasapainoa. Sen sijaan Varsinais-Suomessa, jonne on keskittynyt huomattavasti sianlihantuotantoa ja siipikarjataloutta, annettiin lähes 5 kg/ha enemmän fosforia kuin kasvit sitä ottivat. Pohjanmaan TE -keskuksen alueella ylijäämä oli tätäkin suurempi johtuen alueelle keskityneestä turkistarhauksesta ja maidontuotannosta.

Fosforitaseissa on myös huomattavia tilakohtaisia eroja. Virtasen ja Nousiaisen (2005) tutkimuksessa 319 lypsykarjatilalla fosforin porttitase oli  $12 \pm 7,2$  kg/ha. Vaihtelun tärkeimmät selittäjät olivat väkilannoitteiden käyttömäärä ja eläintiheys hehtaaria kohti. Suomessa kotieläintilojen hallinnassa on keskimäärin 47,8 % peltoalasta, kun Uudellamaalla kotieläintilojen hallinnassa on vain 19,4 % peltoalasta. Vastaavat luvut Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan TE -keskusten alueilla ovat 30,1 % ja 54,7 % (Tike: Eero Miettinen 3.9.2008). Jos kaikki karjanlanta levitettäisiin vain kotieläintilojen hallinnassa oleville pelloille, ne saisivat karjanlantafosforia koko Suomessa keskimäärin 15,7 kg/ha. Uusimaan alueella lantafosforia riittäisi kotieläintilojen pelloille 15,4 kg/ha, Varsinais-Suomessa 24 kg/ha ja Pohjanmaalla 17,2 kg/ha. Kun kotieläintuotantoon suuntautuneiden tilojen fosforiluvut ovat jo aikaisemman lannoituksen vuoksi viljaitiloja korkeammat (Uusitalo ym. 2007), lannan fosforista saadaan hyötyä vain lisäämällä yhteistyötä kasvinviljelytilojen kanssa.

## 2.3 Fosforilannoituksen säätö

Erilaisten fosforilannoitusmäärien vaikutusta maan fosforilukujen kehitykseen ja siitä riippuvaan liukoisien fosforin huuhtoumaan tarkasteltiin koko Suomessa sekä em. TE-keskusalueilla 20 vuoden ajalle. Laskelmassa käytettiin peltomaiden fosforilukuaineista, johon oli koottu Suomen merkittävimpien viljavuuslaboratorioiden (Viljavuuspalvelu Oy, Sokerijuurikkaan tutkimuskeskus ja Ympäristöpalvelu Oy) fosforilukuaineistot vuosilta 1997–2002. Koska fosforilukujen ryhmittäminen viljavuusluokkiin vaihtelee maalajeittain, alueittainen aineisto jaettiin kolmeen maalajiryhmään: eloperäiset maat, karkeat kivennäismaat ja savimaat.

Fosforilannoituskäytäntöinä käytettiin kolmea erilaista vaihtoehtoa: kasvien tarpeen mukainen lannoitus, ”P-tarve”, kasvien fosforin oton korvaava lannoitus, ”nollatase”, ja ympäristötuen lisätoimenpide ”vähennetty lannoitus”. Laskennat tehtiin viisivuotiskausittain. Lannoitusta muutettiin, jos maan fosforiluvun siirtyminen viljavuusluokasta toiseen edellytti lannoitusmuutosta.

”P-tarve” – lannoituskäytäntö pohjautui Suomessa 80 vuoden aikana tehtyjen fosforilannoituskokeiden yhteenvetoon meta-analyysin avulla (Valkama ym.

2009). Analyysin mukaan fosforilannoituksella saatiin tilastollisesti merkitsevä, yli 5 prosentin sadonlisäys, kun maan fosforiluku eloperäisillä mailla oli < 8 mg/l, karkeilla kivennäismailla < 10 mg/l ja savimailla < 6 mg/l. Tällöin keskimäärin 13 kg/ha fosforilannoitus viljoilla ja nurmilla riitti eloperäisillä mailla ja savimailla maksimaalisen sadonlisän saavuttamiseksi. Karkeilla kivennäismailla maksimaalinen sadonlisäys saatiin viljoilla keskimäärin 25 kg/ha fosforilannoituksella. Nurmilla 13 kg/ha suuruinen fosforilannoitus antoi maksimaalisen sadonlisäyksen kaikilla mailla. Karkeilla kivennäismailla otettiin laskennassa huomioon eri alueiden nurmen ja viljan viljelypinta-alat ja niiden avulla painottamalla saatiin karkeiden kivennäismaiden fosforilannoitustarpeeksi (fosforiluku < 10 mg/l) Suomessa 21,3 kg/ha, Uudenmaan TE -keskuksen alueella 23,3 kg/ha, Varsinais-Suomen TE -keskuksen alueella 23,9 kg/ha ja Pohjanmaan TE -keskuksen alueella 21,2 kg/ha.

”Nollatase” – lannoituksessa fosforia annettiin kaikissa maan fosforiluokissa niin, että lannoitus oli yhtä suuri kuin kasvien kyseisellä alueella keskimäärin ottama fosforimäärä.

”Vähennetty lannoitus” – käytännössä fosforilannoitus oli ympäristötuen ”vähennetty lannoitus” –lisätoimenpiteen enimmäismäärien mukainen (Maaseutuvirasto 2007). Lannoitusmäärissä otettiin huomioon maan fosforiluku, joten käytäntö poikkesi kasvien fosforin oton korvaavasta ”nollatase”-lannoituksesta. Viljavuusluokissa huono, huononlainen ja välttävä viljat ja nurmikasvit saivat 15 kg/ha fosforilannoituksen. Viljavuusluokassa tyydyttävä fosforilannoitusta annettiin viljoille ja nurmille 10 kg/ha. Sokerijuurikkaalle vastaavat lannoitusmäärät olivat 30 ja 15 kg/ha ja perunalle 35 ja 20 kg/ha. Kasvien tarpeen mukaisesta lannoituksesta käytäntö poikkesi siten, että myös tyydyttävässä viljavuusluokassa oleville maille annettiin fosforilannoitusta. Tyydyttävää viljavuusluokkaa alemmissa viljavuusluokissa lannoitus oli hiukan kasvien tarpeen mukaista lannoitusta suurempaa, lukuun ottamatta karkeiden kivennäismaiden viljojen fosforilannoitusta, joka oli vajaa kymmenen kiloa pienempi kuin viljelykasvien keskimääräinen tarve Valkama ym. (2009) mukaan.

Laskelmassa viljavuusluokkien lannoitusmäärät muodostuivat enimmäismäärien mukaisesti niin, että kasvien viljelypinta-alat alueella otettiin huomioon. Alueittaiset ja maalajin mukaan luokitellut fosforilukuaineistot jaettiin viljavuusluokkiin. Maat sijoitettiin viljavuusluokkaan välttävä tai sitä alempaan, jos fosforiluku eloperäisillä mailla oli alle 8 mg/l, karkeilla kivennäismailla alle 10 mg/l ja savimailla alle 6 mg/l. Tyydyttävään viljavuusluokkaan kuuluivat sellaiset eloperäiset maat, joiden fosforiluku oli 8–15 mg/l. Karkeilla kivennäismailla vastaavat arvot olivat 10 – 18 mg/l ja savimailla 6 – 12 mg/l. ”Vähennetty lannoitus” –käytännössä koko Suomen alueella välttävässä ja sitä alemmassa viljavuusluokassa olleet maat saivat 15,2 kg/ha fosforilannoituksen ja tyydyttävässä luokassa olevat maat 10,2 kg/ha. Vastaavat määrät Uusimaan TE -keskuk-

sen alueella olivat 15,3 ja 10,1 kg/ha, Varsinais-Suomessa 15,8 ja 10,3 kg/ha ja Pohjanmaalla 15,8 ja 10,4 kg/ha. Perunan ja sokerijuuriikkaan viljelyn yleisyys vaikutti lannoitusmääriin.

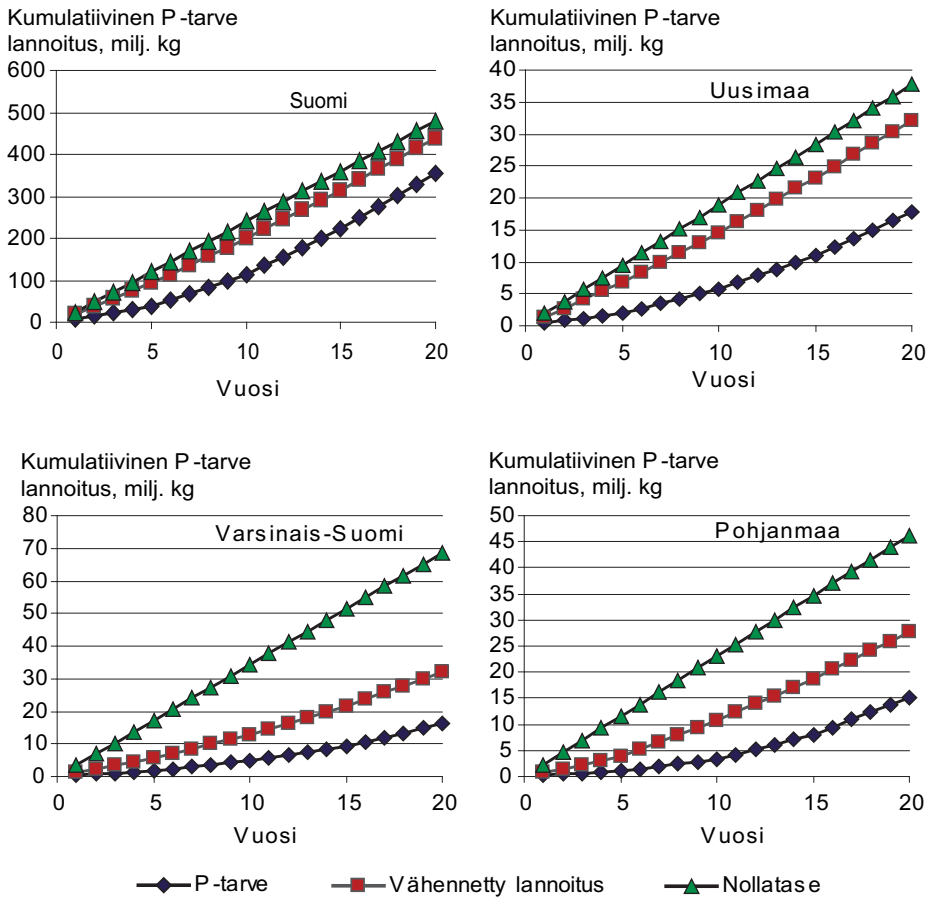
”P-tarve”-lannoituskäytännön ei oletettu laskevan sadon fosforin ottoa muuten paitsi savimailla, joilla sadon laskettiin pienenevän 5 % keskisadosta, jos fosforilannoitusta ei annettu lainkaan. Samansuuruinen sadonvähennys otettiin savimailla huomioon myös ”vähennetty lannoitus” –käytännössä, kun fosforilannoitusta ei annettu lainkaan. Vähennytyssä lannoituksessa sadon laskettiin alentuneen 5 % myös karkeilla kivennäismailla, kun fosforiluku oli alle 10 mg/l ja lannoitus alueesta riippuen noin 15 kg/ha. Vastaava sadon alennus tapahtui myös ”Nollatase”- lannoituskäytännössä.

Koko Suomen sekä Uusimaan, Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan alueiden fosforilannoitusmäärä erilaista lannoituksen säätöä käyttäen esitetään Kuvassa 1. Tulosten mukaan nykyinen fosforilannoitus on kasvien tarpeeseen (95-100 % maksimisadosta) nähden koko Suomessa ja Uudenmaan TE-keskuksen alueella yli 4,5-kertaista. Kotieläintuotannon keskittymisalueella Varsinais-Suomessa annetaan fosforilannoitusta 13-kertainen määrä kasvien tarpeeseen nähden, ja Pohjanmaalla turkistarhauksen ja kotieläintuotannon keskittymisalueella 21-kertaisesti todelliseen tarpeeseen verrattuna.

Vaikka eri lannoitusvaihtoehtojen seurauksena fosforiluvut vähitellen pienentyisivät, ja tämä nostaisi ajan kuluessa lannoitustarvetta, tarve ei vielä kahdenkymmenen vuoden kuluttuakaan olisi niin suuri kuin vuonna 2005 toteutunut lannoitus. Erityisesti tämä koskee alueita, joille kotieläintuotanto on keskittynyt. Kahdenkymmenen vuoden aikana koko Suomessa tarvittaisiin fosforia lannoitukseen 354 milj. kg kasvien fosfortarpeen mukaisessa lannoituksessa, eli 49 % vähemmän kuin jatkettaessa lannoittamista vuoden 2005 käytännöllä (696,2 milj. kg). Väkilannoitefosforia säästyisi tällöin 90 %, luonnonvarojen kestävä käytön mukaisesti apatiittivarantojen ollessa rajalliset. Jos lannoituksella korvattaisiin kasvien ravinteiden otto (”nollatase”), fosforia tarvittaisiin 480,0 milj.kg.

## **2.4 Lannan ja muiden sivutuotteiden riittävyys fosforilähteeksi**

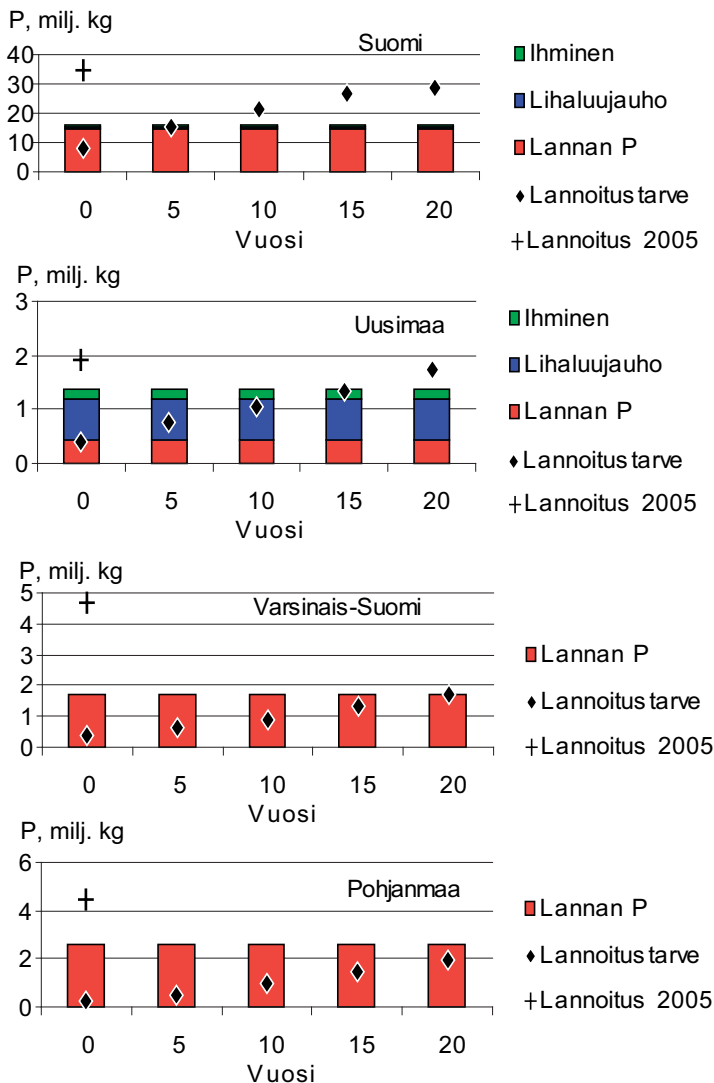
Jos eläinten lantaan tuottama fosforimäärä saataisiin levitettyä kasvien tarpeen mukaisesti koko Suomen peltoalalle, se riittäisi yksinään turvaamaan kasvien fosfortarpeen viiden vuoden ajan. Alussa lannan fosforisisältö olisi ruokinnan suhteen säädettynäkin suurempi kuin kasvit tarvitsevat, mutta viiden vuoden jälkeen pelkkä koti- ja turkiseläinlanta ei enää riittäisi. Tällöin vajetta olisi mahdollista vielä täyttää lihaluujauhon ja ihmisten ulosteiden lannoituskäytöl-



Kuva 1. Kumulatiivinen fosforilannoitusmäärä kahdenkymmenen vuoden aikana erilaisilla lannoituskäytännöillä. 'P-tarve' pohjautuu Valkama ym. (2009) yhteenvetoon, 'vähennetty lannoitus' ympäristötuen 2007-2013 lisätoimenpiteeseen, 'nollatase' sadon fosforinottoon.

lä. Myöhemmin maan fosforireservien edelleen vähentyessä tarvittaisiin myös väkilannoitefosforia (Kuva 2).

Lannoituskäyttöön soveltuvaa lihaluujauhoa syntyy Suomessa Honkajoki Oy:n tietojen mukaan 21 milj. kg ja se sisältää fosforia 1,26 milj. kg. Ylivainion ja Turtolan (2009) mukaan lihaluujauhon fosforista 60 % voi tulla muutamassa vuodessa kasveille käyttökelpoiseksi. Jos turkiseläinten ruokinnassa ei käytettäisi lihaluujauhoa, voitaisiin koko määrä käyttää fosforilannoitteena, jolloin 0,76 milj. kg kasveille käyttökelpoista fosforia olisi mahdollista käyttää fosforilannoitukseen. Erittäin merkittävän fosforireservin muodostaa myös ihmisten ulosteiden sisältämä fosfori, jota muodostuu nykyisin vuosittain noin 3,14 milj. kg. Ihmisten ulosteiden sisältämän fosforin käyttökelpoisuutta alentavat kuitenkin



Kuva 2. Lannoitustarve ja lannan, lihaluujuauhon ja ihmisten ulosteiden sisältämät kasveille käyttökelpoiset fosforimäärät eri aikoina sekä vuoden 2005 lannoitus.

jätevedenpuhdistamoissa käytettävät saostuskemikaalit, jotka huonontavat puhdistamolietteen sisältämän fosforin käyttökelpoisuutta kasveille. Suuri osa taajama-alueiden ulkopuolella asuvasta väestöstä (16,5 % vuonna 2005) oli vielä viemäriverkon ulkopuolella, mutta vuoden 2004 alussa voimaan tulleen talousjätevesiasetuksen mukaan myös haja-asutusalueiden jätevedet on puhdistettava. Jos em. väestömäärän jätevedet puhdistettaisiin niin, että ulosteet otettaisiin erikseen talteen, saataisiin kasvien lannoitukseen fosforia 0,52 milj. kg. Jo pelkkä virtsan erottelu tuottaisi 0,36 milj. kg fosforia.

Uusimaan TE-keskuksen alueella kotieläinten tuottama fosforimäärä riittäisi ensimmäisen viiden vuoden ajan, jos lannoitettaisiin kasvien tarpeen mukaisesti. Sen jälkeen fosforia tarvittaisiin muista lähteistä. Jos kaikki syntyvä lihaluujuaho käytettäisiin Uusimaan TE-keskuksen alueella, riittäisi se yhdessä karjanlannan kanssa turvaamaan kasvien fosforinsaannin viidentoista vuoden ajaksi. Uusimaan TE-keskuksen alueella asuu myös 1,4 milj. ihmisiä, jotka ulosteissaan tuottavat 0,86 milj. kg fosforia. Vaikka jätevedenpuhdistuksen jälkeen vain 20 % fosforista olisi kasveille käyttökelpoista (Vihersaari 2003), saataisiin tästä lähteestä 0,17 milj. kg kasveille käyttökelpoista fosforia ja 20 vuoden lannoitustarve voitaisiin tyydyttää ilman väkilannoitefosforia. Sen jälkeen alueelle pitäisi tuoda fosforia muualta.

Kasvien tarpeen mukainen fosforilannoitus tuottaisi vaikeuksia lannan sijoittamisen osalta alueilla, joille kotieläin- ja turkistuotantoa on keskittynyt, koska pelkästään lanta sisältää enemmän fosforia kuin kasvit sitä tarvitsevat. Varsinais-Suomen TE-keskuksen alueella fosforiluvut ovat muita alueita korkeammat ja lannoitustarve siitä syystä pienempi. Mikäli kotieläintuotanto pysyy määrällisesti samanlaisena, riittäisi kotieläinten tuottama fosfori turvaamaan kasvien ravinteiden saannin ja lantaa voitaisiin tämän lisäksi viedä alueen ulkopuolelle jatkuvasti kahdenkymmenen vuoden ajan. Vasta kahdenkymmenen vuoden jälkeen kotieläinten tuottama fosforimäärä, kun ruokintaa olisi säädetty, olisi tasapainossa alueella viljeltävien kasvien fosforitarpeen kanssa.

Pohjanmaan TE-keskuksen alueella koti- ja turkiseläinten tuottama lanta riittäisi turvaamaan kasvien ravinteiden saannin vielä 20 vuoden jälkeenkin. Jotta kasvien fosforitarpeen mukaista lannoitusta voitaisiin harjoittaa, pitäisi aluksi 92 % tuotetusta lantafosforista viedä pois alueelta. Lannan sisältämän fosforin siirtotarve säilyisi koko tarkastelujakson ajan ja vielä kahdenkymmenen vuoden kuluttuakin 23 % lantafosforista pitäisi kuljettaa pois.

Vaikka Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan TE-keskusten alueilla jo pelkkää lannan fosforia on ylimäärin kasvien tarpeeseen nähden, on koko Suomen tilanne toisenlainen. Kymmenen vuoden jälkeen kaikki lanta olisi tarpeen kasvinviljelyssä, sillä Uudenmaan TE-keskuksen lisäksi on muitakin alueita, joilla kotieläimet tuottavat lannoitustarvetta vähemmän fosforia.

Laskelma havainnollistaa sen, että maaperään jo aikaisemmin kerätty fosforivaranto on järkevää hyödyntää kasvintuotannossa ja että väkilannoitteiden käyttötarve on tällä hetkellä hyvin pieni. Jotta fosforin hukkakäyttö jäisi mahdollisimman pieneksi, tarvittaisiin nopeasti lannan käsittelyyn ja prosessointiin liittyvän teknologian kehitystä ja käyttöönottoa. Lantateknologia ja lantamarkkinat yhdessä järkevien lannoitusmäärien kanssa sulkisivat tehokkaasti maatalouden fosforikiertoa. Arvio osoittaa myös, että lannoitehintojen nous-

nessa monien viljelijöiden on mahdollista vähentää fosforilannoitusta ja välttää turhia kustannuksia.

## 2.5 Fosforilukujen muutos ja fosforikuormitus

Eri lannoituskäytäntöjen vaikutus maiden fosforilukujen kehitykseen laskettiin kaksivaiheisesti Saarelan ym. 2004 esittämien kaavojen avulla.

$$P_1 = -0,0031*(P_0)^2 + 0,887*P_0 + 0,12 \quad [1]$$

$$P_2 = P_1 + tase*((0,0013 + 0,001325*P_1 - 0,0000161*(P_1)^2)) \quad [2]$$

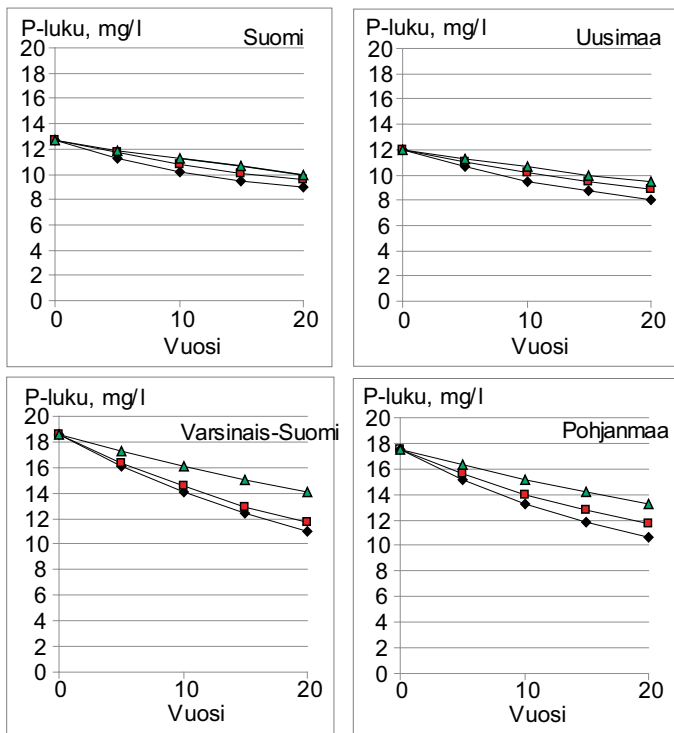
Ensimmäinen kaava ottaa huomioon ajan (12,5 vuotta) ja maan fosforiluvun ( $P_0$ ) lähtötilanteessa, jos maata lannoitetaan nollataseen mukaisesti, ja toisessa kaavassa huomioidaan nollataseesta poikkeava fosforitase. Kaava (1) antaa uuden fosforiluvun 12,5 vuoden jälkeen ( $P_1$ ), mistä laskettiin vuosittainen muutos. Laskennat tehtiin viisivuotiskausittain yhteensä 20 vuoden ajalle. Jokaisen kauden päätteeksi laskettiin alueen uusi fosforilannoitustarve käyttämällä lähtökohtana maiden fosforilukujakaumaa. Näin laskien saatiin erilaisia fosforilannoituskäytäntöjä vastaavat keskimääräiset maan fosforiluvut eri ajankohdina (Kuva 3).

Valumaveden liukoisen fosforin pitoisuuden arvioitiin riippuvan lineaarisesti maan fosforiluvusta seuraavan yhtälön mukaisesti:

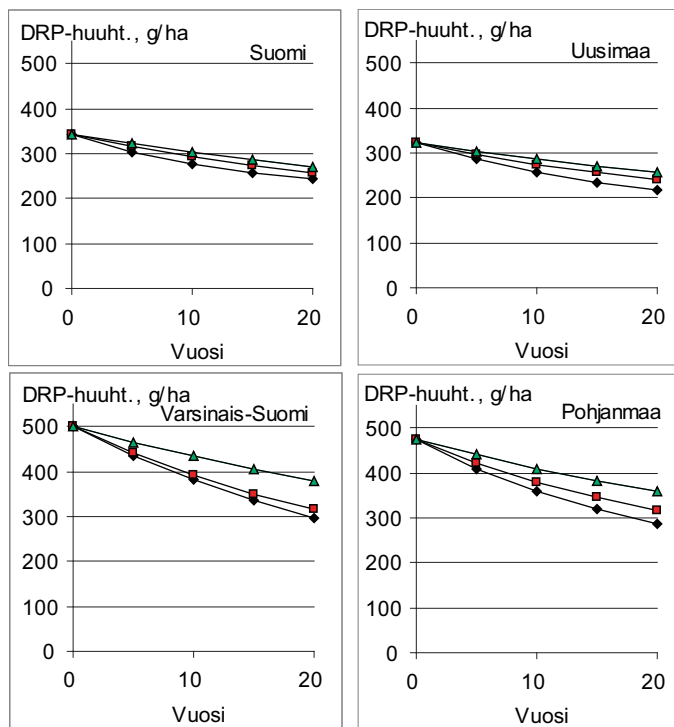
$$\text{Liukoisen fosforin pitoisuus valumavedessä (mg/l)} = 0,01 * P_2 \quad [3]$$

Yhtälö perustuu sadesimulointituloksiin (Uusitalo ja Aura 2005), jotka sopivat hyvin yhteen esimerkiksi Jokioisten Kotkanojan huuhtoumakentän tulosten kanssa. Valumaveden liukoisen fosforin pitoisuuden muuttaminen potentiaaliseksi liukoisen fosforin kuormaksi laskettiin olettamalla valumaveden määräksi 270 mm vuodessa. Laskelma estimoisi siten vain yhden muuttujan, fosforilannoituksen ja siitä riippuvan maan fosforiluvun muutoksen potentiaalista vaikutusta fosforikuormitukseen, eikä se ota huomioon mahdollisia muutoksia valunnassa, viljelymenetelmissä tai eri kasvien pinta-aloissa. Erilaisten fosforilannoituskäytäntöjen vaikutus fosforin kuormitusriskiin on esitetty kuvassa 4.

Kahdenkymmenen vuoden jälkeen kasvien tarpeen mukainen fosforilannoitus alentaisi maan fosforilukua ja vähentäisi liukoisen fosforin kuormitusriskiä koko Suomen alueella 29 % ja Uusimaan TE-keskuksen alueella 33 % alkutilanteeseen verrattuna. Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan alueilla fosforiluvut alenisivat ja liukoisen fosforin huuhtoutumisriski pienentyisi vastaavasti 41 % ja 39 %. Näillä alueilla muutokset olisivat suurempia, koska maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus on alussa korkeampi ja muutokset tällöin nopeampia



Kuva 3. Peltojen keskimääräinen fosforiluku kahdenkymmenen vuoden aikana erilaisilla fosforilannoituskäytännöillä. Selitteet kuten kuvassa 1.



Kuva 4. Liukoisen fosforin (DRP) huhtoutuminen kahdenkymmenen vuoden aikana erilaisilla fosforilannoituskäytännöillä. Selitteet kuten Kuvassa 1.

◆-P-tarve      ■-Vähennetty lannoitus      ▲-Nollatase



kuin alemmilla fosforiluvuilla (Saarela 2004, Ekholm ym. 2005). Fosforikierron säätämisellä olisi siis erittäin merkittävä vaikutus maatalouden fosforikuormituspotentiaaliin.

Myös kasvien fosforinoton korvaava ”nollatase”-lannoituskäytäntö alentaisi maan fosforilukuja ja vähentäisi liukoisen fosforin huuhtoutumista. Suomessa ja Uusimaan TE-keskuksen alueella huuhtoutumisriski olisi kahdenkymmenen vuoden jälkeen 21 % pienempi. Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan TE-keskusten alueella huuhtoutumisriski vähentyisi 24 %. Muutokset kasvien fosforinoton korvaavassa ”nollatase” lannoituskäytännössä ovat vaatimattomampia, koska käytäntö mahdollistaa fosforilannoituksen myös korkeissa fosforiluokissa, jolloin jää hyödyntämättä suuri osa huuhtoutumisriskin pienetämismahdollisuudesta. Ympäristötuen lisätoimenpide ”vähennetty lannoitus” sijoittuu vaikutuksiltaan edellisten välimaastoon.

### 3 Yhteenveto

Tässä työssä tarkasteltiin fosforikierron säätövaraa ja fosforikierron sulkemismahdollisuuksia Suomen maataloudessa ottamalla lähtökohdaksi biologisen tarpeen mukainen fosforinkäyttö. Taloudellinen tarkastelu jätettiin työn ulkopuolelle. Väkilannoitefosforin osalta nykyistä tarkempi käyttö merkitsisi yleensä viljelijälle säästöä, kun taas lantafosforin osalta muodostuisi kustannuksia esimerkiksi prosessoinnista ja kuljettamisesta. Biologisen tarpeen mukaisesti toimittaessa väkilannoitefosforia ei tarvittaisi kymmeneen vuoteen lainkaan, mutta samalla lannan ja muiden sivutuotteiden sisältämä fosfori pitäisi saada levitettyä sinne, missä olisi todellista lannoitustarvetta.

Koko Suomen ja Uusimaan, Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan TE -keskusten alueille laskettiin aluksi fosforitase, jossa otettiin huomioon väkilannoitus ja koti- ja turkiseläinten lannan sisältämän kasveille käyttökelpoisen fosforin määrä sekä sadon fosforin otto. Laskentaa varten tarkennettiin kertoimia koti- ja turkiseläinten erittämille fosforimäärille. Tulosten mukaan koko Suomen alueella fosforitase oli 5,4 kg/ha ylijäämäinen. Uusimaan TE -keskuksen alueella tase oli lähellä nolaa, mutta Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan TE -keskusten alueella taseen ylijäämät olivat 4,9 ja 12,1 kg/ha.

Samoille alueille laskettiin fosforilannoitus kolmella eri lannoituskäytännöllä, jotka olivat kasvien tarpeen mukainen fosforilannoitus (”P-tarve”), kasvien fosforinoton korvaava ”nollatase” sekä ympäristötuen lisätoimenpide, ”vähennetty lannoitus”. Laskennat tehtiin viisivuotiskausittain 20 vuoden ajalle. Tulosten mukaan nykyinen lannoitus on koko Suomen ja Uudenmaan TE -keskuksen alueella 4,5 -kertainen kasvien tarpeeseen nähden. Varsinais-Suomessa se on 13-kertainen ja Pohjanmaalla 21 -kertainen ensimmäisen viiden vuoden aika-

na. Jos lannoitettaisiin kasvien tarpeen mukaisesti, lantaa pitäisi kuljettaa pois Varsinais-Suomen ja Pohjanmaan TE -keskusten alueilta koko 20 vuoden ajan. Uusimaan alueella karjanlannan fosfori riittäisi turvaamaan kasvien fosforinsaannin viiden vuoden ajan, minkä jälkeen alue voisi toimia lannan vastaanottajana. Koti- ja turkiseläinten ruokintaa säätämällä voitaisiin lantafosforin määrää vähentää 12 %, mikä vähentäisi lantafosforin kuljettamistarvetta.

Kun fosforilannoitus olisi säädetty kahdenkymmenen vuoden ajan kasvien tarpeen mukaisesti, liukaisen fosforin huuhtoutumisriski olisi 30–40 % nykyistä pienempi. Kasvien fosforinoton korvaavalla ”nollatase” -käytännöllä liukaisen fosforin kuormitus olisi kahdenkymmenen vuoden jälkeen 21–24 % pienempi ja ”vähennetty lannoitus” -käytännöllä 25–37 % pienempi kuin alussa. Vaihtokukset olisivat suurempia niillä alueilla, joilla maan fosforiluvut ovat alussa korkeimmat. Fosforikierron säätäminen olisi siten erittäin merkittävä keino vähentää maatalouden fosforikuormitusta ja sen kohdistuminen olisi myös alueellisesti ja lohkokohtaisesti järkevää.

Kasvien tarpeen mukaisen lannoituksen avulla fosforivaroja voitaisiin säästää huomattavasti. Kahdenkymmenen vuoden aikana fosforia säästyisi Suomessa 49 % verrattuna siihen, että lannoitusta jatkettaisiin vuoden 2005 käytännön mukaisesti. Väkilannoitefosforia säästyisi 90 %. Väkilannoituksen pois jättäminen on helppo keino vähentää yllannoitusta ja siitä aiheutuvia turhia kustannuksia, mutta se ei yksin riitä alueilla, joilla on korkeat fosforiluvut ja eläimet tuottavat runsaasti fosforia lantaan. Maatalouden fosforikierron sulkemiseksi tarvitaan menetelmiä lantafosforin prosessointiin ja markkinointiin kotieläintuotantoalueiden ulkopuolelle.

Turhan fosforinkäytön lopettaminen vähentäisi fosforipäästöjä jo kahdeskymmenessä vuodessa merkittävästi, ja vähentyminen jatkuisi tämän jälkeenkin. Tätä nopeampien muutosten aikaansaamiseksi on kehitettävä eniten kuormittaviin kohteisiin soveltuvia puhdistus- ja maankäsittelymenetelmiä. Vaikka osa päästöistä saataisiinkin tulevaisuudessa torjuttua näillä menetelmillä, maatalouden fosforikuormitusta on vaikea saada hallintaan ilman fosforikierron sulkemista ja maan fosforipitoisuuden laskua.

## 4 Kirjallisuus

- Antikainen, R., Haapanen, R., Lemola, R., Nousiainen, J. I. ja Rekolainen, S. 2008. Nitrogen and phosphorus flows in the Finnish agricultural and forest sectors, 1910–2000. *Water, Air and Soil Pollution* 194: 163–177.
- Ekholm, P., Turtola, E., Grönroos, J., Seuri, P. ja Ylivainio, K. 2005. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110: 266–278.

- Fernández, J.A., Poulsen, H.D., Boisen, S. ja Rom, H.B. 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: Denmark. *Livestock Production Science* 58: 225–242.
- Jokinen, R. 1989. Fosforin saostukseen käytettävien kemikaalien vaikutus jätevesilietteiden ominaisuuksiin sekä käyttöarvoon lannoitteena ja maanparannusaineena. Kasvintuotannon tutkimuslaitos. Maatalouden tutkimuskeskus. *Tiedote* 18/89.
- Kansanterveyslaitos 2007. Finravinto 2007 –tutkimus. The National FIN-DIET 2007 Survey. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B. (23/2008). 227 s. Saatavissa: [https://www.ktl.fi/attachments/suomi/julkaisut/julkaisusarja\\_b/2008/2008b23.pdf](https://www.ktl.fi/attachments/suomi/julkaisut/julkaisusarja_b/2008/2008b23.pdf)
- Komulainen, M. 1997. Maatalouskalenteri 1997. (Agricultural calendar 1997.) Helsinki: Maaseutukeskusten liitto, Helsinki. (in Finnish)
- Maaseutuvirasto 2007. Maatalouden ympäristötuen sitomusehdot 2007. 18.7.2007. Maaseutuvirasto 2007. 30 s. Saatavissa: <http://lomake.mmm.fi/ShowFile?ID=21734jaLUOKKA=597>
- Manninen, M. 2007. Winter feeding strategies for suckler cows in cold climatic conditions. Academic dissertation. University of Helsinki. Available at: <http://ethesis.helsinki.fi/>. [cited 09/05/2008]
- Mattila, P., Grönroos, J., Rankinen, K., Karhu, E., Siimes, K., Laitinen, P., Granlund, K., Antikainen, R. ja Ekholm, P. 2007. Ympäristötuen mukaiset viljelytoimenpiteet ja niiden vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 2003–2005. Suomen ympäristö 40. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 101 s.
- MTT 2006. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset [verkkojulkaisu]. Jokioinen: MTT Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Julkaistu 14.2.2006, [viitattu 20.11.2008]. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/rehutaulukot/>. URN:NBN:fi-fe20041449.
- MMM 2004. Horisontaalisen maaseudun kehittämissuunnitelman väliarviointi. Manner-Suomi. MMM:n julkaisuja 1/2004. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. ISSN 1238–2531.
- Mäkelä-Kurtto, R. 2001. Jätevesilietteiden tuotteistaminen maatalouskäyttöön. [Elektroninen julkaisu]. 39 s. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus/Ympäristöntutkimus. <http://www2.mtt.fi/lva/luo/nro0594.pdf>. 2.8.2001.
- Neset, T-SS., Bader, H-P., Scheidegger, R. ja Lohm, U. 2008. The flows of phosphorus in food production and consumption – Linköping, Sweden, 1870–2000. *Science of the Total Environment* 396: 111–120.

- Rekilä, T., Koskinen, N., Huhtanen, P., Pylkkö, P., Kupsala, K. ja Ylivainio, K. 2009. Turkiseläintuotannon fosforikierron mallintaminen. Teoksessa: Turto- la, E. ja Ylivainio, K. Suomen kotieläintalouden fosforikierto – säätöpotenti- aali maataloilla ja aluetasolla. Maa- ja elintarviketalous 138. s. 34–63.
- Saarela, I. 2002. Phosphorus in Finnish soils in the 1900s with particular refer- ence to the acid ammonium acetate soil test. *Agricultural and Food Science in Finland* 11:257–271.
- Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H. ja Rinne, K. 2004. Phosphorus status of di- verse soils in Finland as influenced by long-term P fertilisation. 2. Changes of soil test values in relation to P balance with references to incorporation depth of residual and freshly applied P. *Agricultural and Food Science* 13: 276–294.
- Saastamoinen, M. ja Teräväinen, H. (toim.) 2007. Hevosen ruokinta ja hoito. Tieto tuottamaan 119: ProAgria Maaseutokeskusten Liiton julkaisuja 1036: 149 p. 6. uudistettu painos.
- Savolainen, U. ja Teräväinen, H. (toim.) 2000. Lampaan ruokinta ja hoito. (Feed- ing and care of sheep.) Maaseutokeskusten Liiton julkaisuja 959: Tieto tuot- tamaan 90. 2. uudistettu painos. Helsinki: Maaseutokeskusten liitto. p. 87– 90.
- Smith, K.A., Charles, D.R. ja Moorhouse, D. 2000. Nitrogen excretion by farm livestock with respect to land spreading requirements and controlling nitro- gen losses to ground and surface waters. Part 2: pigs and poultry. *Biore- source Technology* 71: 183–194.
- Smith, K.A. ja Frost, J.P. 2000. Nitrogen excretion by farm livestock with re- spect to land spreading requirements and controlling nitrogen losses to ground and surface waters. Part 1: cattle and sheep. *Bioresource Technol- ogy* 71: 173–181.
- Tike 2005. Maatilatilastollinen vuosikirja 2005. Helsinki: Maa- ja metsätalous- ministeriön tietopalvelukeskus. 268 s.
- Tilastokeskus 2007a. Ympäristötilasto, Vuosikirja 2007. Ympäristö ja luonnon- varat 2007. Tilastokeskus: Helsinki. 208 s. ISSN 0785-0387, ISBN 978-952- 467-701-1.
- Tilastokeskus 2007 b. Suomen tilastollinen vuosikirja 2007. Suomen virallinen tilasto. Tilastokeskus: Helsinki. 717 s. ISSN 1795-5165 = SVT, ISSN 0081- 5063, ISBN 078-952-467-736-3.
- Turtola, E. ja Yli-Halla, M. 1998. Fate of phosphorus applied in slurry and min- eral fertilizer: accumulation in soil and release into surface runoff water. *Nu- trient Cycling in Agroecosystems* 55: 165–174.

- Uusitalo, R. ja Aura, E. 2005. A rainfall simulation study on the relationships between soil test P *versus* dissolved and potentially bioavailable particulate phosphorus forms in runoff. *Agricultural and Food Science* 14: 335–345.
- Uusitalo, R. ja Jansson, H. 2002. Dissolved reactive phosphorus in runoff assessed by soil extraction with an acetate buffer. *Agricultural and Food Science in Finland* 11: 343–353.
- Uusitalo, R., Turtola, E., Grönroos, J., Kivistö, J., Mäntylähti, V., Turtola, A., Lemola, R. ja Salo, T. 2007. Finnish trends in phosphorus balances and soil test phosphorus. *Agricultural and Food Science* 16: 301-316.
- Valkonen, E. 2008. Loppumuninnan fosforipitoisuutta vara vähentää. *Rehuma-kasiini* 34: (4/2008) 44-45. Saatavilla: <http://raisio.smartpage.fi/?docId=1834218e6a74afaac626c170b415171c>
- Vihersaari, V. 2003. Tutkimusraportti: Puhdisamoliete – fosforilannoitteena. *Varsinais-Suomen Agenda* 21, 1/2003. Varsinais-Suomen Agendatoimisto, Turku. 37 s. ISBN:951-97953-7-5, ISSN: 1457-6767.
- Virtanen, H. ja Nousiainen, J. 2005. Nitrogen balances on Finnish dairy farms. *Agricultural and Food Science* 14: 166-180.
- Valkama, E., Uusitalo, R., Ylivainio, K., Virkajärvi, P. ja Turtola, E. 2009. Phosphorus fertilization: a meta-analysis of 80 years of research in Finland. *Agriculture, ecosystems and environment*. Painossa, doi:10.1016/j.agee.2008.12.004.
- Weckman, A. 2000. Ihmisen ulosteet lannoitteena. *Työtehoseuran monisteita* 1/2000 (75). 30 s.
- Ylivainio, K. ja Turtola, E. 2009. Kotieläintalouden ylijäämäfosfori kasvintuotannossa. Teoksessa: Turtola, E. ja Ylivainio, K. Suomen kotieläintalouden fosforikierto – säätöpotentiaali maataloilla ja aluetasolla. *Maa- ja elintarviketalous* 138. s. 65–160.

