



Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2

Osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000-2003

Eila Turtola ja Riitta Lemola (toim.)



Maa- ja elintarviketalous 59
176 s.

**Maatalouden ympäristötuen
seuranta MYTVAS 2**

Osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000-2003

**Follow-up of the effectiveness of
the Agri-Environmental Programme
in Finland**

Results of sub-projects in 2000-2003

Eila Turtola ja Riitta Lemola (toim.)

ISBN 951-729-911-7 (Painettu)
ISBN 951-729-912-5 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1458-5073 (Painettu)
ISSN 1458-5081 (Verkkajulkaisu)
www.mtt.fi/met/pdf/met59.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

Julkaisuvuosi

2004

Kannen kuva

Aaro Närvänen

Painopaikka

Dark Oy

Maatalouden ympäristötuen seuranta

MYTVAS 2, Vesistökuormitus

Osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000-2003

Eila Turtola ja Riitta Lemola (toim.)

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristöntutkimus, 31600 Jokioinen,
eila.turtola@mtt.fi, riitta.lemola@mtt.fi

Tiivistelmä

Maatalouden ympäristötukiohjelman keskeisin tavoite on maatalouden aiheuttaman vesistökuormituksen vähentäminen. Tässä seurantahankkeessa arvioidaan maatalouden ympäristötukiohjelman vaikutusta vesistökuormitukseen sekä vesiensuojelun tavoiteohjelman toteutumista maataloudessa. Työtä tehdään viidellä aihealueella: 1) ympäristötuen toimenpiteiden toteutuminen maataloilla, 2) muutokset peltomaan kuormituspotentiaalissa, 3) vaikutukset mitattuun ravinnekuormitukseen ja järvivesien laatuun, 4) viljelyn talouden ja ympäristökuormituspotentiaalın väliset kytkennät sekä 5) lannoitustasojen vaikutukset maataloustuotteiden laatuun. Tähän julkaisuun on koottu aihealueiden 2-5 seurantatulokset vuosilta 2000-2003 kahdeksassa erillisessä kirjoituksessa.

Viljelymaan kuormituspotentiaali näyttäisi pienentyneen ympäristötuen aikana, kun mittarina käytetään peltomaan typpitasetta ja osin myös tarkasteltaessa helppoliukoisen fosforin pitoisuutta. Sen sijaan muokkausmenetelmän muutoksen vaikutus pintaveden esiintymiseen on ollut vähäinen. Alentuneista lannoitusmääristä huolimatta satotaso on pysynyt ennallaan, ja sadon laatu-
muutokset johtunevat vain pieneltä osin ympäristötuen lannoitusrajoituksista. Ympäristötuella on merkittävä vaikutus viljelyn talouteen ja erilaiset maatalouspolitiikan keinot heijastuvat kuormituspotentiaaliin. Peltomaan huuhtoutumisaltiiden ravinteiden pitoisuuksien pienentymisestä huolimatta mitatussa ravinnekuormituksessa ja vesistöjen tilassa ei kuitenkaan vielä havaita selvää paranemista, eivätkä vesiensuojelun tavoiteohjelman tavoitteet vuoteen 2005 mennessä näytä toteutuvan. Ympäristötuen toimenpiteet vaativatkin kehittämistä sekä alueellista ja tilakohtaista kohdentamista. Eteläisen Suomen savi-
maiden eroosiota on torjuttava nykyistä tehokkaammin. Myös kotieläintalouden yksikkökoon kasvusta ja alueellisesta keskittymisestä aiheutuvat ympäristöriskit edellyttäisivät tehostettuja toimia.

Avainsanat: ympäristö, ympäristötukiohjelma, maatalous, ympäristönsuojelu, vesiensuojelu, typpi, fosfori, maatilat, ravinteet, järvet, lannoitus, maataloustuotteet, laatu, kannattavuus

Follow-up of the effectiveness of the Agri-Environmental Programme in Finland

Results of sub-projects in 2000-2003

Eila Turtola and Riitta Lemola (eds.)

MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research, FIN-31600 Jokioinen, Finland
eila.turtola@mtt.fi, riitta.lemola@mtt.fi

Abstract

Reduced nutrient load to waters is the main target of the Agri-Environmental Programme in Finland. The programme covers more than 90% of active farms and about 98% of the cultivated land in active use. In this follow-up study the effects of the programme measures are examined in five sub-projects: 1) actual changes in farming practices, by interviewing about 400 farmers on selected areas, 2) development of nutrient leaching potential of agricultural soils, by calculation of nutrient balances and measurement of bioavailable nutrients in soil and runoff water, 3) quality of surface waters, by monitoring agriculturally loaded rivers and lakes, 4) economic connections between programme measures, production and the potential nutrient load, by using farm data and modelling, and 5) effect of reduced fertilisation on the yield quality, by statistical analysis of both national follow-up and experimental data. This publication presents the results of the sub-projects 2-5 for years 2000-2003 in eight separate articles.

The development of surface nitrogen balance and concentration of easily soluble (labile) phosphorus in cultivated soils suggest reduced potential for losses of both nitrogen and phosphorus during the Agri-Environmental Programme. Despite the smaller amounts of leacheable nutrients in soils, no changes were observed in the water quality of six loaded rivers and three small agricultural catchments. Similarly was the water quality in monitored lakes unchanged. Until now, surface water was only slightly affected by the programme measures. Lower fertilisation did not reduce the yield level and the changes in yield quality can be explained only partly by the fertilisation regulations. The programme support had a large impact on farm income. Results indicate that the objectives of the 'Decision in principle on the water protection targets to 2005' are not achieved by year 2005. The measures of the Agri-Environmental Programme need to be still developed and focused further, especially to control erosion on clay soils in southern Finland. More effective measures are also required in areas of intensive animal husbandry.

Key words: agri-environmental programme, nitrogen, phosphorus, nutrient load

Alkusanat

Maatalouden ympäristötukiohjelman päätavoitteena on maatalouden aiheuttaman vesistökuormituksen vähentäminen. Maatalouden ympäristötukiohjelma on maassamme poikkeuksellisen kattava, sillä ohjelmaan on sitoutunut yli 90% peltoalatukia hakeneista viljelijöistä ja perustuen toimenpiteitä toteutetaan noin 98%:lla maataloustukien piirissä olevasta peltoalasta Tuki on myös taloudellisesti merkittävä; sen kokonaisarvo on noin 280 miljoonaa euroa vuodessa. Ohjelman vaikuttavuuden seuraamiseksi ja toimenpiteiden kehittämiseksi käynnistettiin vuonna 2000 ”Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimus” (MYTVAS 2). Tutkimuksessa seurataan maatalouden aiheuttaman vesistökuormituksen lisäksi myös maatalousympäristön monimuotoisuuden kehitystä. Seuranta rahoittavat maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö ja sitä ohjaa maa- ja metsätalousministeriön asettama maatalouden ympäristötuen ohjausryhmä (ns. Myto-ryhmä).

MYTVAS 2 –tutkimuksen vesistökuormitusseuranta toteutetaan Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) ja Suomen ympäristökeskuksen (Syke) yhteistyönä. Seuranta on jatkoa ensimmäisen ympäristötukikauden aikana vuosina 1995-1999 aloitetulle MYTVAS –seurannalle. Vuoteen 2006 jatkuvassa tutkimuksessa selvitetään ympäristötuen toimenpiteiden vaikutusta maaperän kuormituspotentiaaliin ja sadon laadun kehitykseen sekä arvioidaan toimenpiteiden ympäristötaloudellisia vaikutuksia.

Tämä MYTVAS 2 –väliraportti koostuu osahankkeiden raporteista seurantajaksoilta 2000-2003. Julkaisuun sisältyy yhteensä kahdeksan raporttia, joista viisi kuvaa viljelymaan kuormituspotentiaalin kehitystä: ”Käyttökelpoisen fosforin arviointi pintamaasta ja valumavedestä”, ”Maan rakenteen ja pinta-valuntariskien arviointi”, ”Typpitaseen seuranta valtakunnallisesti ja alueellisesti” ja ”Maatalouden ravinnekuormitus ja sen vesistövaikutukset – arviointi seuranta-aineistojen avulla”. Viimeksimainittu aihealue käsittää raportit ravinnekuormituksesta ja järvivesien laadusta. Lannoitustasojen yhteyksiä sadon laatuun käsitellään raportissa ”Sadon laadun seuranta”. Ympäristötuen ja vaihtoehtoisten tukijärjestelmien taloudellisia vaikutuksia tutkivasta hankkeesta ”Maatalouden vesiensuojelutavoitteiden toteutumisvaihtoehtojen tilaja sektoritason taloudellinen analyysi” on kirjoitettu kaksi erillistä raporttia. Väliraportti osatutkimuksesta ”Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuus ja vesiensuojelun tavoitteiden toteutuminen: tilatason toimenpiteiden muutokset ja niiden vaikutukset kuormitukseen” on julkaistu laajuutensa vuoksi erikseen Suomen ympäristö –julkaisusarjassa.

Jokioisilla lokakuussa 2004
Eila Turtola ja Riitta Lemola (toim.)

Sisällysluettelo

Käyttökelpoisen fosforin arviointi pintamaasta ja valumavedestä, <i>Risto Uusitalo & Petri Ekholm</i>	7
Maan rakenteen ja pintavaluntariskien arviointi, <i>Juha Eskelinen & Laura Alakukku</i>	33
Typпитaseen seuranta valtakunnallisesti ja alueellisesti, <i>Tapio Salo, Riitta Lemola, Katri Rankinen, Kirsti Granlund & Martti Esala</i>	65
Maatalouden ravinnekuormitus ja sen vesistövaikutukset – arviointi seuranta-aineistojen avulla, Järvien vedenlaatu, <i>Petri Ekholm, Johanna Virtanen & Sari Mitikka</i>	84
Maatalouden ravinnekuormitus ja sen vesistövaikutukset – arviointi seuranta-aineistojen avulla, Ravinnekuormitus, <i>Antti Räike, Kirsti Granlund & Petri Ekholm</i>	97
Sektoritason analyysi maatalouspolitiikkavaihtoehtojen ravinnekuormituspotentialista, <i>Heikki Lehtonen & Jussi Lankoski</i>	110
Maatalouden ympäristötuen taloudellinen merkitys tukialueittain ja tuotantosuunnittain vuosina 2000 ja 2001, <i>Kauko Koikkalainen & Jussi Lankoski</i>	140
Sadon laadun seuranta, <i>Tapio Salo, Juha Ekholm, Lauri Jauhiainen & Mirja Kartio</i>	158

Käyttökelpoisen fosforin arviointi pinta- tamaasta ja valumavedestä

Risto Uusitalo¹⁾ ja Petri Ekholm²⁾

¹⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristöntutkimus, 31600 Jokioinen, risto.uusitalo@mtt.fi

²⁾ Suomen ympäristökeskus, Vesistöalueiden integroitu tutkimusohjelma, PL 140, 00251 Helsinki, petri.ekholm@ymparisto.fi

Tiivistelmä

Biologisesti käyttökelpoisen fosforin (P) kulkeutuminen vesiin aiheuttaa niiden rehevöitymistä. Tämän työn tarkoitus oli arvioida ympäristötukikausien aikana tapahtunutta rehevöittävän fosforikuormituksen muutosta ja tarkastella maatalouden eri toimien vaikutusta siihen. Liuenneen P:n kuormitusmuutoksia arvioitiin maan helppoliukoisien P:n (maan P-luvun) muutosten avulla, kun taas hiukkasmaisen P:n (PP) biologista käyttökelpoisuutta ja käyttökelpoisen PP:n kuormitusmuutoksia arvioitiin koekentillä ja valuma-alueilla tehtyjen havaintojen perusteella. Biologisesti käyttökelpoisen PP:n kuormasta tehtiin kaksi erillistä arviota, joita voidaan käyttää ennustettaessa PP-kuorman vaikutuksia erilaisissa vesissä. Esimerkkejä eri vesistötyypeistä ovat hyvässä happitilassa olevat sisävedet ja toisaalta hapettomuudesta kärsivät merialueet. Vuosikymmenien nousun jälkeen maan helppoliukoisien P:n pitoisuudet näyttävät olevan kääntymässä laskuun. Tämän seurauksena liuenneen P:n huuhtoutumisriski pienenee, mikä ajan oloon näkyy myös maatalouden kuormittamien vesien rehevyytason laskuna. Toistaiseksi tämä myönteinen kehitys ei kuitenkaan ole nähtävissä valuma-alue- tai vesistö-tarkkailussa. Hienorakeisilla (savipitoisilla) mailla pääosa (tyypillisesti noin 75 %) P:n kokonaiskuormasta on PP:a, ja liuenneen P:n ja rehevöittävän PP:n kuormat saattavat olla samansuuruisia. Jos valumavesien pellolta kuljettava kiintoaineksi päätyy hapettomaan merisedimenttiin, voi siitä vapautua 2–3-kertainen määrä käyttökelpoista P:a verrattuna hapellisissa oloissa tapahtuvaan P:n vapautumiseen. Erityisesti alhaisen P-tilan savimailla eroosion torjunta voi olla parhaimmillaan nopea ja tehokas keino vähentää rehevöittävän P:n kulkeutumista pelloilta vesiin.

Avainsanat: ympäristönsuojelu, vesiensuojelu, vesistökuormitus, ravinteet, ympäristötuki, valumavesi, vesistöt, fosfori, rehevöityminen eroosio, levät

Estimating algal-available phosphorus in surface soil and runoff

Risto Uusitalo¹⁾ and Petri Ekholm²⁾

¹⁾ MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research, FIN-31600 Jokioinen, Finland, risto.uusitalo@mtt.fi

²⁾ Finnish Environmental Institute, PL 140, FIN-00251 Helsinki, Finland, petri.ekholm@ymparisto.fi

Abstract

Eutrophication of surface waters is accelerated by agricultural inputs of phosphorus (P), provided that P is in a form that can be utilized by aquatic algae. The aim of this study was to evaluate the trends in algal-available P losses during the Finnish Agri-Environmental Programme (FAEP). The risk for the leaching of dissolved molybdate-reactive P (DRP) from fields was inferred from the changes in easily soluble P of surface soil, whereas potential algal-availability of particulate P (PP), and algal-available PP losses were approximated by studying experimental fields and P export from small agricultural basins. Two estimates of algal-available PP losses were produced, referring to availability in (1) fresh waters with an aerobic sediment surface layer and (2) mostly anoxic marine sediments. After decades of increase, P status of surface soil has been slowly declining in the recent years, as a result of farmers' commitment to FAEP. So far, water quality monitoring at a basin level does not show a decreased DRP transport from soil to water. However, with time moderation of soil P status will probably decrease DRP losses and thus eutrophication problems. In clayey soils, PP often makes up 75% of the total P losses. In fresh water recipients, PP can constitute an equal share of the algal-available P losses as the entirely available DRP, but in poorly oxygenated marine recipients the contribution of PP to algal-available P load may be 2-3 times that of DRP. When successfully implemented, erosion control measures produce a rapid decrease in algal-available P losses, being the more cost-effective the smaller are the DRP losses.

Key words: phosphorus, eutrofication, erosion, alga

Johdanto

Suomessa noin 60 % vesiin päätyvästä ihmistoiminnan aiheuttamasta fosforikuormituksesta on peräisin maataloudesta (Ekholm ym. 1999). Osa tästä fosforikuormasta on sellaisessa muodossa, että se ei ole leville käyttökelpoista eikä aiheuta rehevöitymistä (Ekholm 1994, Ekholm ja Krogerus 2003). Siten fosforin kokonaisvirtojen perusteella ei voida tarkastella maatalouden, eikä muidenkaan fosforilähteiden rehevöittävää vaikutusta. Yhteismittallinen vertailu voidaan tehdä vasta, kun tunnetaan myös eri fosforimuotojen käyttökelpoisuus leville.

Pelloilta huuhtoutuva liuenut fosfori on kasveille ja vesien perustuottajille käyttökelpoinen, rehevöittävä fosforin muoto. Erodoituneeseen maa-ainekseen sitoutunut fosfori muodostaa kuitenkin monin paikoin pääosan maatalouden kokonaisfosforikuormasta (Pietiläinen ja Rekolainen 1991). Tämän hiukkasmaisen fosforin (PP) käyttökelpoisuutta leville rajoittaa voimakas pidättyminen ja sitoutuminen maa-ainekseen. Osa hiukkasmaisesta fosforista voi kuitenkin vapautua liuenneeseen muotoon. Tärkeimpinä potentiaalisesti käyttökelpoisina maa-ainesfosforin muotoina voidaan pitää hiukkaspinnoille pidättynyttä fosforia sekä hapettomissa oloissa pelkistyviin metallioksidiin (lähinnä Fe-oksidiin) sitoutunutta fosforia. Sisävesissä hiukkaspinnoille pidättynyt fosfori on oletettavasti tärkein leville käyttökelpoinen maa-ainesfosforin muoto. Erityisesti rehevillä merialueilla pelkistyneet olot saattavat kuitenkin vapauttaa jo sedimentoitunutta, aiemmin käyttökeltvotonta, metallioksidiin sitoutunutta maa-ainesfosforia liuenneeseen muotoon.

Tämä osahanke tarkastelee ympäristötukikaudella havaittua muutosta rehevöittävien fosforimuotojen – liuenneen fosforin ja hiukkasista mahdollisesti vapautuvan fosforin – kulkeutumisessa maatalousmaalta vesistöihin. Lisäksi arvioidaan ympäristötukeen sisältyvien toimenpiteiden vaikutusta näiden fosforimuotojen kuormituspotentiaaliin.

Aineisto ja menetelmät

Liuenneen fosforin kuormituspotentiaali

Liuenneen fosforin kuormituksen ennustamisessa lähtökohtana oli oletus maan helppoliukoisesta fosforin (joka ilmaistaan neuvonnallisen maa-analyysin P-lukuna) ja valumavesien liuenneen fosforin pitoisuuden välisestä kiinteästä yhteydestä (Turtola & Yli-Halla 1999). Oletuksen oikeellisuutta testattiin eri aineistoilla ja eri mittakaavassa (Uusitalo & Jansson 2002, Aura, sekä Alakukku ym., julkaisematonta sadesimulaatiokokeiden aineistoa).

Koska pellolta vesiin joutuva fosforikuormitus muodostuu peltovalumavesien määrän ja fosforipitoisuuden tulosta, eikä valumavesien määrää koko maan mittakaavassa voida mitata, on tässä hankkeessa kuormituksen muutokset arvioitu liuenneen fosforin kuormituspotentiaalin muutoksena. Tämä tehtiin epäsuorasti maan helppoliukoisen fosforin pitoisuuden muutoksen avulla.

Maan P-luvun kehitystä arvioitiin käyttäen toisistaan riippumattomia aineistoja. Noin 700 ympäri Suomea sijaitsevan peltolohkon P-lukua vuosina 1974, 1987 ja 1998 on seurattu MTT:n peltojen tilaa koskevassa tutkimuksessa (Mäkelä-Kurtti & Sippola 2002). Koska viimeisin näytteenotto ajoittuu siten, että vertailuvuodesta 1987 on kulunut 8 vuotta ensimmäisen ympäristötukikauden alkamiseen ja ympäristötuki on ollut voimassa vain 3 vuotta, tämä aineisto ei vielä kuvaa ympäristötuen vaikutusta maan P-tilaan. Se antanee kuitenkin paremman kuvan maan P-tilan muutoksista valtakunnallisella tasolla ensimmäisen tukikauden alkuun mennessä kuin Viljavuuspalvelu Oy:n kaikkien analysoitujen näytteiden keskiluvut. Ympäristötuen ehtojen vuoksi vuosina 1995–1998 Viljavuuspalvelu Oy:n analysoitavaksi lähetettiin runsaasti näytteitä, joille ei oltu tehty maa-analyysiä kenties koskaan, ja siten Viljavuuspalvelu Oy:n aineisto 1995–1998 on oletettavasti eri otosjoukosta peräisin kuin ennen vuotta 1995 analysoidut näytteet. Toinen tässä työssä käytetty aineisto koostuu ns. MYTVAS-alueilta haastatteluilta kerätyistä maa-analyysitiedoista vuosilta 1995–1999 sekä 2000–2002; joiltakin MYTVAS-alueilta oli tietoja myös ennen vuotta 1995 vallinneesta tilanteesta.

Leville käyttökelpoinen hiukkasmainen fosfori

Leville käyttökelpoisen hiukkasmaisen fosforin kuormitusmuutosten arvioiminen perustuu tässä työssä anioninvaihtohartsilla (AER) uuttuvan hiukkasmaisen fosforin määrittämiseen valumavesinäytteistä. Sitä kuinka hyvin AER-uutto kykenee korvaamaan levätestin arvioitaessa peltovalumavesien leville käyttökelpoista fosforia testattiin vertailemalla AER-uuton ja levätestin tuloksia toisiinsa (Uusitalo & Ekholm 2003).

Valuma-alueittakaavan tarkasteluissa hiukkasmaiselle fosforille laskettiin käyttökelpoisuuskerroin, jonka avulla hiukkasmaista fosforia ja liuennutta fosforia voitiin verrata yhteismitallisesti laskettaessa valuma-alueiden ainevirtaamista rehevöittävästä fosforikuormituksesta. Käyttökelpoisuuskerroimen suuruus määritettiin neljän savimaalla sijaitsevan huuhtoumakentän (Aurajoki, Kotkanoja, Lintupaju, Sjäkulla) tulosten perusteella (Uusitalo ym., 2003). Tästä aineistosta laskettuna 16 % (eri koekentillä 13–19 %) hiukkasmaisesta fosforista oli leville käyttökelpoista. Käyttökelpoisuuskerrointa pyrittiin arvioimaan MYTVAS-alueilla myös mittausten perusteella (ks. alla), mutta menetelmä osoittautui ongelmalliseksi.

Koska maa-ainesfosforin reaktiot sedimentaation jälkeen riippuvat suuresti pohjakerrostumien kemiallisesta tilasta ja mikrobiologisista prosesseista, tutkittiin myös pelkistyneissä oloissa vapautumiskykyisen hiukkasmaisen fosforin osuutta rehevöittävästä fosforikuormasta. Arvio pelkistyneissä oloissa vapautuvasta fosforista saatiin määrittämällä pelkistinkemikaalin (puskuroitu ditioniitti) lisäyksen seurauksena maa-aineksesta vapautuva fosfori (Uusitalo & Turtola 2003). Myös tämä arvio perustui em. huuhtoumakenttien valumavesien analyysihin (Uusitalo ym., 2003). Keskimäärin tässä aineistossa 45 % (eri koekentillä 37–55 %) hiukkasmaisesta fosforista vapautui liuenneeseen muotoon pelkistyneissä oloissa.

Fosforikulkeumat MYTVAS-alueilla

Kaikilla MYTVAS-alueilla on ympäristöhallinnon ylläpitämä tai julkisen valvonnan alainen vedenlaadun seuranta. Taipaleenjoella vedenlaatua havainnoidaan tosin vain Putaanjoen osavaluma-alueella, joka käsittää 13 % Taipaleenjoen haastattelun alueen pinta-alasta. Kolmella MYTVAS-alueella (Hovi, Savijoki, Löytäneenoja) on tiheä, osittain automatisoitu näytteenotto. Hovin alue on 100 % peltoa. Savijoen ja Löytäneenojan valuma-alueilla on myös metsiä, mutta näiltä tuleva kuorma on pieni maatalouden kuorman verrattuna (Vuorenmaa ym. 2002). Kyseisille alueille laskettiin kaudelle 1998–2002 vuosittaiset kokonaisfosforin (TP) ja liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) valumat (Granlund ja Ekholm, julkaisematon). Ainevirtaaman laskentamenetelmänä oli ns. periodimenetelmällä, jossa fosforipitoisuuden oletetaan pysyvän vakiona näytteenottopäivien välillä (ks. Rekolainen ym. 1991). Kaudelle 1990–1997 fosforivalumat on arvioinut Vuorenmaa ym. (2002). Em. vuosittaisista fosforivirtaamista laskettiin keskiarvot kausille 1990–1994 (ennen ympäristötukea), 1995–1999 (1. tukikausi) ja 2000–2002 (2. tukikauden alkupuoli). Putaanjoelle ainevirtaama-arvioita ei voitu tehdä, sillä alueella ei ole luotettavaa virtaamamittausta. Kinarehenojalla ja Lepsämänojoella vedenlaadun havainnointi on alkanut vasta vuonna 1996. Yläneenojan ainevirtaamia on tarkastellut Kirkkala (2001, julkaisematon).

Vaikka tässä työssä PP:n käyttökelpoisuusarvioissa käytetäänkin koekentiltä saatua laajaan aineistoon perustuvaa keskiarvoa, kokeiltiin käyttökelpoisen fosforin arviointia AER-uuton avulla myös taulukossa 1 esitetyiltä vedenlaatuasemilta perusseurannan yhteydessä otetuista näytteistä. Hovin alueella näytteitä analysoitiin sekä kokonaisvalunnasta että salaojavalunnasta, muilla asemilla vain kokonaisvalunnasta.

Taulukko 1. Vedenlaadun havaintopaikat MYTVAS-alueilla ja havaintopaikan yläpuolisen alueen ominaisuuksia.

Table 1. Sampling sites for water quality monitoring.

Alue <i>Basin</i>	Vedenlaadun havaintopaikka <i>Sampling site</i>	Koko (km ²) <i>Area</i>	Peltoisuus (%) <i>Field-%</i>	Järvisyys (%) <i>Lake-%</i>
Hovi	Hovi 11 (kokonaisvalunta), Hovi 10 (salaojavalunta)	0,12	100	0
Savijoki	Savi 12 mittapato	15,4	39	0
Löytäneenoja	Löytäneenoja mittapato	5,6	68	0
Lepsämänjoki	Lepsämänjoki 2,6	212	3,3	
Lestijoki	Lestij. Kinarehenojan alap., Le 33	1280	6,7	
Kinarehenoja	Kinarehenoja Peltola	56		
Taipaleenjoki	Putaanjoki 96 alajuoksu, Putaanjoki 97 yläjuoksu	4,6	60	0
Yläneenjoki	Yläneenjoki P2 Vanhakartano	234	27	0

Koska AER-uuttoisen P:n määrittämisen alaraja on melko korkea (0,041 mg l⁻¹, ks. Uusitalo & Ekholm 2003), vain 40 näytteestä saatiin luotettava AER-uuton tulos (Taulukko 2). Putaanjoelta, Lestijoelta, Kinarehenojalta ja Yläneenjoelta ei saatu lainkaan määrittämisen ylittäviä tuloksia. Uusitalo ja Ekholm (2003) havaitsivat, että maatalouden valuvesissä (lähinnä koekentiltä kerätyjä näytteitä) AER-uuttoinen P oli pienempi kuin levätestillä saatu potentiaalisesti levillä käyttökelpoinen P (AAP), suhteen ollessa AAP = 1,45 * AER-P. Kokeiltaessa potentiaalisesti käyttökelpoisen PP:n (AAPP) arviointia MYTVAS-alueilta otetuista näytteistä oletettiin, että em. yhteys pätee myös tässä aineistossa.

Huolimatta korkeasta PP:n käyttökelpoisuusarviosta (Taulukko 3), AER-uuttoinen P korreloi melko hyvin DRP-pitoisuuden kanssa (Kuva 1). AER-P:n ja DRP:n pitoisuuksien välisen yhteyden kulmakertoimen arvo oli vain 1,07. Olettaen, että anioninvaihtohartsit olisivat sitonut kaiken DRP:n, olisivat sitonut vain melko pieni osuus näytteiden PP:stä vapautunut määrittämisessä. Kun

Taulukko 2. Anioninvaihtohartsilla uutettujen näytteiden määrä havaintopaikoittain, näytteiden keskimääräinen kokonaisfosforin (TP), liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) ja AER-uuttoisen fosforin (AER-P) pitoisuus sekä niiden näytteiden määrä, joissa AER-P ylitti määrittysrajan (DL).

Table 2. Characteristics of the samples extracted with anion exchange resin (AER). TP = total phosphorus, DRP = dissolved molybdate-reactive phosphorus, DL = detection limit.

Havaintopaikka Site	Näytteitä Samples	TP mg l ⁻¹	DRP mg l ⁻¹	AER-P mg l ⁻¹	AER-P > DL n
Putaanjoki 96 alajuoksu	19	0,058	0,014	0,014	0
Putaanjoki 97 yläjuoksu	19	0,048	0,010	0,010	0
Lepsämänjoki	11	0,110	0,024	0,027	2
Hovi/ kokonaisvalunta	23	0,150	0,051	0,059	13
Hovi, salaojavalunta	20	0,160	0,085	0,084	14
Yläneenjoki	4	0,092	0,021	0,014	0
Lestijoki	6	0,057	0,025	0,017	0
Kinarehenoja	10	0,057	0,015	0,009	0
Löytäneenoja	9	0,130	0,058	0,051	6
Savijoki	11	0,150	0,039	0,033	5

MYTVAS-alueiden koko vaihtelee 12 hehtaarista satoihin neliökilometreihin (Taulukko 1), saattaa vähäinen AER-uuttoisen PP:n määrä valumavesissä johtua siitä, että suurelta alueelta tulevassa valumavedessä hiukkaspintojen fosfori on jo pitkälti vapautunut liuenneeseen muotoon. Vapautumista tapahtuu erityisesti pellolta erodoituneen aineksen sekoittuessa laimeisiin metsä-alueilta tuleviin valumavesiin.

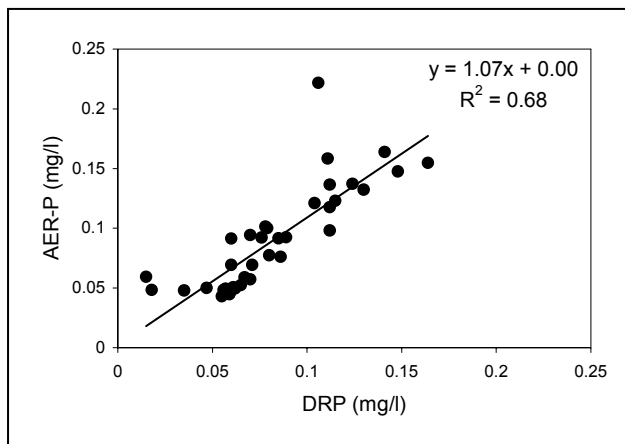
Taulukon 3 mukaan AAPP:n keskimääräinen osuus PP:sta vaihteli eri alueilla välillä 23–60 %. Arvot vaikuttavat hyvin korkeilta (yhdessä näytteessä osuus oli 145 %). Esimerkiksi Ekholmin (1994) maatalousjokien vesillä tekemissä levätesteissä kiintoainefosforista oli keskimäärin vain 5 % käyttökelpoista.

Taulukko 3. Leville käyttökelpoisen hiukkasmaisen fosforin osuus hiukkasmaisen fosforin pitoisuudesta, sekä keskimääräinen määrä. Suluissa arvioiden minimi ja maksimi.

Table 3. Algal-available particulate P (AAPP) as percents of particulate P (PP) and as grams per kilo of eroded soil. Mean, minima and maxima.

Alue <i>Basin</i>	AAPP %:na PP:sta as % of PP	AAPP g kg ⁻¹
Hovi, salaojavalunta	60 (29–100*), <i>n</i> = 14	0,840 (0,540–2,500), <i>n</i> = 11
Hovi, kokonaisvalunta	40 (11–69), <i>n</i> = 13	0,880 (0,098–3,100), <i>n</i> = 9
Savijoki	23 (8–60), <i>n</i> = 5	0,160 (0,087–0,210), <i>n</i> = 3
Löytäneenoja	37 (9–60), <i>n</i> = 6	2,090 (0,190–5,400), <i>n</i> = 6
Lepsämänjoki	39 (27, 52), <i>n</i> = 2	0,570 (0,400; 0,731), <i>n</i> = 2

*145%



Kuva 1. Anioninvaihtohartsilla uutettavan fosforin (AER-P) ja liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) välinen yhteys.

Figure 1. Relationship between phosphorus extracted with anion exchange resin (AER-P) and dissolved reactive P (DRP) in runoff from the basins in which farmers were interviewed (i.e., the MYTVAS-areas). The graph suggests that, in contrast to field surface runoff, AER extracts only a small portion of particulate phosphorus in runoff from these larger areas.

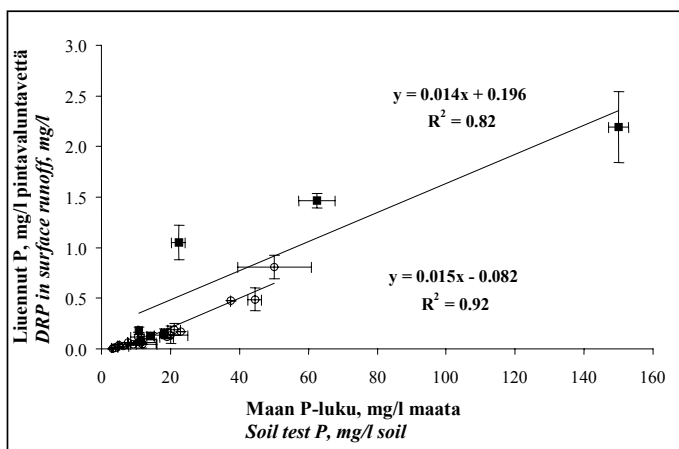
Tulokset ja tulosten tarkastelu

Liunneen fosforin kuormituspotentiaali

Valumavesien liunneen fosforin ja maa-analyysin P-luvun välillä oli selkeä yhteys eri mittakaavassa tehtyjen havaintojen mukaan. Laboratoriomittakaavan sadesimulaatiokokeissa maan P-luku selitti yli 80 % pintavalunnan liunneen fosforin pitoisuuden vaihtelusta (Kuva 2). Mittakaavan kasvaessa peltolohkojen tasolle selitysaste ymmärrettävästi laskee, kun pellon sisäinen P-tilan vaihtelu, viljelytoimien aiheuttamat hetkelliset vaihtelut ja näytteen edustavuuden merkitys kasvavat. Rehtijärven valuma-alueella tehdyssä tutkimuksessa (keskimääräinen lohkon koko 3,8 ha; Uusitalo ja Jansson 2002) arvioitiin kuitenkin lähes 2/3 valumavesien keskimääräisestä liunneen fosforin valumapainotteisesta pitoisuudesta olevan selitettävissä maan P-luvun avulla.

Savimaan koekenttien ($n = 5$) pintavalunnassa kyseinen yhteys voitiin kirjoittaa muotoon $DRP = 0,020 \times P\text{-tila} - 0,046$ ($r^2 > 0,95$), mikä eroaa vain vähän Rehtijärven valuma-alueella havaitusta yhteydestä $DRP = 0,017 \times P\text{-tila} - 0,009$ ($r^2 = 0,63$). Näissä aineistoissa maan P-tila oli pääosin alle 10 ja erityisesti Rehtijärven aineistosta käy ilmi ennusteiden soveltamiseen liittyvä epävarmuus toisaalta alhaisen P-tilan alueille ja toisaalta pienten muutosten indikoijana: Rehtijärven valuma-alueella tehdyn tutkimuksen mukaan maan P-tilan perusteella ennustetun liunneen fosforin pitoisuuden virhe on luokkaa $0,1 \text{ mg l}^{-1}$ (Uusitalo & Jansson 2002).

Viljavuuspalvelu Oy:n tilastojen mukaan peltomaan P-luku lähes kaksinkertaistui 1960-luvulla (Kuva 3), minkä jälkeen P-tila on kasvanut maltillisemmin. Nopein kasvu P-tilassa tapahtui 1960- ja 1970-lukujen taitteessa, jolloin peltoihimme levitettävän väkilannoitefosforin määrä kasvoi keskimäärin 10:stä yli 30:een kg ha^{-1} (Yli-Halla ym. 2001). Sitten 1990-luvulla väkilannoitefosforin myynti laski nopeasti nykyiselle hieman yli 10 kg ha^{-1} tasolle (Yli-Halla ym. 2001). Mineraalilannoitteiden vähentyneen käytön vaikutuksista suomalaisen pellon P-tilaan ei kuitenkaan saatu laajaan tilastoaineistoon perustuvaa tietoa. Kun viljavuustutkimuksen piiriin tuli vuosien 1995–1998 aikana huomattava määrä uusia asiakkaita ympäristötukiehtojen vuoksi, muuttui Viljavuuspalvelu Oy:n keskiarvoihin perustuvan aineiston otantajoukko selvästi. Vuoden 1995 jälkeen näytteet tulivat osin eri pelloilta kuin ennen ensimmäisen ympäristötukikauden alkua. Tämä ilmeni peltojen pH-arvon selkeänä laskuna ja samanaikaisena P-luvun keskiarvon hypähdyksenomaisena kasvuna (Yli-Halla ym. 2001, Mäntylähti 2002), mikä vaikeuttaa ympäristötuen todellisen vaikutuksen arviointia.

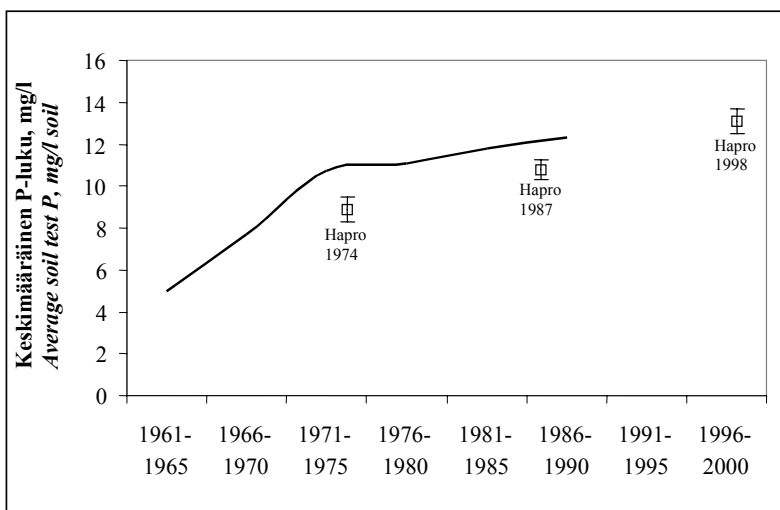


Kuva 2. Maan P-tilan ja pintavalunnan liuenneen fosforin välinen yhteys kahdessa sadesimulaatioaineistossa. Valkoisilla ympyröillä merkityt pisteet (alempi suora) ovat pääosin savimaita (n = 18); sadetus pintamaanäytteille, jotka on pakattu 40 * 60 cm:n laatikoihin (E. Aura, julkaisematon koeaineisto). Mustilla neliöillä merkityt näytteet (ylempi suora) karkeampia maita (n = 6); sadetus tehty kokonaisena kairatuille lieriönäytteille (Alakukku ym. 2004).

Figure 2. Relationship between plant-available soil P (Soil test P), assessed by the agronomic soil test in use in Finland (extraction with an acidic ammonium acetate buffer), and dissolved P (DRP) in surface runoff (filtrate passed through 0.2 µm membrane) in rainfall simulation experiments of 18 repacked clayey soils (lower line) and 6 undisturbed, more coarse-textured soil cores (upper line). The graph indicates that the evolution of soil test P can be utilised in predicting changes in the risk for dissolved P losses.

Myös MTT:n seurantatutkimuksen 700 peltolohkolla on maan P-luvun keskiarvo kohonnut verrattuna edelliseen näytteenottoon (Kuva 3). Huolimatta siitä, että Viljavuuspalvelu Oy:n aineistoa pidetään epäjatkuvana ympäristötuen vuoksi, on MTT:n seuranta-aineiston näytteiden P-luku muuttunut samaan tapaan kuin Viljavuuspalvelu Oy:n aineisto. Koska MTT:n seurannan perusteella lasketut keskiarvot perustuvat kaikkina tutkimusvuosina samaan otantajoukkoon, näyttäisi nouseva trendi jatkuneen ainakin vuoteen 1998 asti.

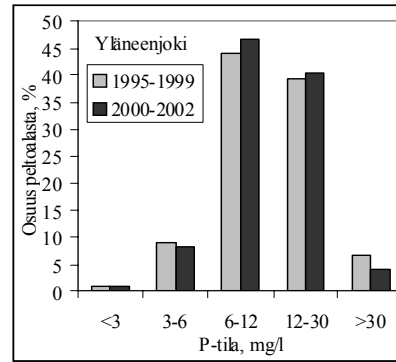
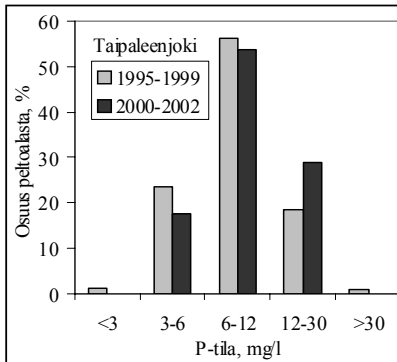
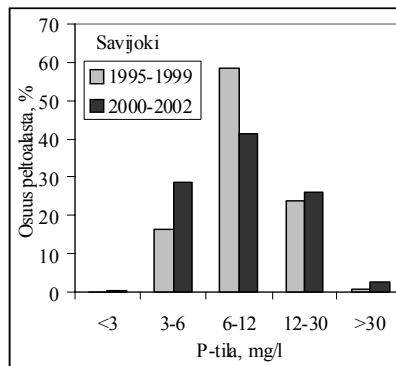
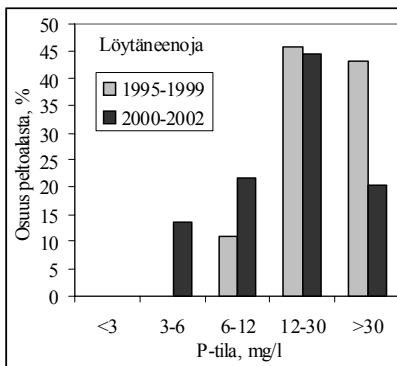
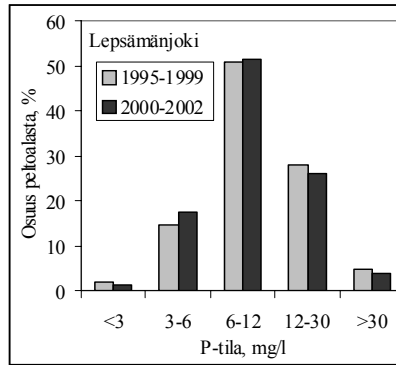
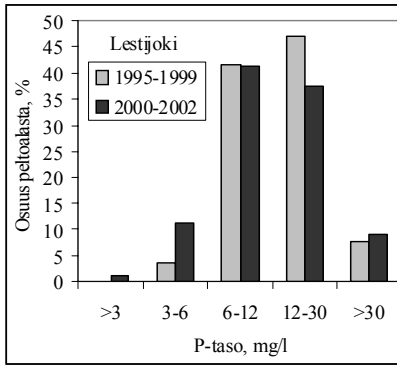
On mahdollista, että myös MYTVAS-alueilla esiintyy samankaltainen otantajoukossa tapahtunut muutos kuin Viljavuuspalvelun aineistossa. Tosin viiden vuoden maa-analyysivälillä vuosina 1995–1996 määritetyt näytteet ihannetapauksessa tulisivat uusinta-analyysiin vuosina 2000–2002. MYTVAS-alueiden viljelijöiden innokkuus osallistua kyselyihin on vaihdellut. Kuvassa 4 esitetyt MYTVAS-alueiden P-luvun mukaiset osuudet peltoalasta ajanjaksoilla 1995–1999 ja 2000–2002 perustuvat Löytäneenojaa lukuun ottamatta jälkimmäisen jakson osalta huomattavasti pienempään näytemäärään kuin 1995–1999.



Kuva 3. Keskimääräinen pellon P-luku 1950-luvulta 1980-luvulle asti Viljavuuspalvelu Oy:n aineiston perusteella (Kähäri ym. 1987) ja MTT:n seuranta-tutkimuksen 700 peltolohkon aineistossa vuosina 1974, 1987 ja 1998 (tolpat kuvaavat keskiarvon keskivirhettä).

Figure 3. Trends in soil test P according to the statistics of the Viljavuuspalvelu Oy (the biggest soil testing laboratory in Finland, solid line) and according to a national soil quality monitoring on about 700 fields (single points, with standard error; material described by Mäkelä-Kurtto and Sippola 2002). The graph shows that on average, soil test P has a 50-year upward trend, very steep until mid-1970s and a more moderate increase during the last 25 years.

Kuvan 4 mukaisesti luokiteltu maa-analyysiaineisto antaa vaihtelevan kuvan maan P-tilan viimeaikaisesta muutoksesta ensimmäiseen tukikauteen verrattuna. Lepsämänjoella muutokset ovat olleet pieniä (keskiarvo laskenut 13:sta 12:een; mediaani 10 molemmilla jaksoilla); ensimmäisellä jaksolla näytemäärä oli kaksinkertainen (883 kpl) verrattuna jälkimmäiseen jaksoon (428 näytettä). Lestijoen alueella P-lukujen keskiarvo laski 16:sta 15:een mg l-1 (mediaani 17:sta 12:een mg l-1; 851 ja 545 lohkon aineistot). Löytäneenojan alueella – jossa näytemäärä oli siis lähes sama (noin 50 lohkoa) molemmilla tarkastelujaksoilla – näyttäisi tapahtuneen huomattava maan P-pitoisuuden lasku (keskiarvo 38:sta ja 19:ään mg l-1; mediaani 22:sta 13:een mg l-1) ja pienten P-lukujen suhteellisen osuuden voimakas kasvu.

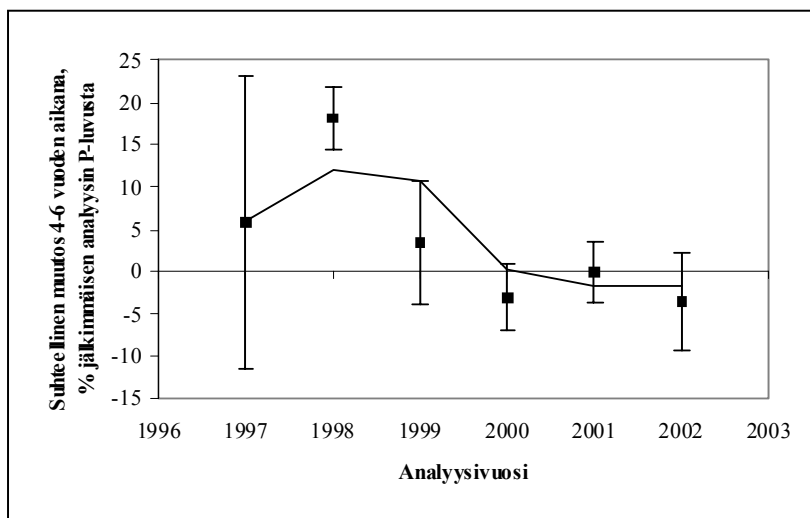


Kuva 4. Maa-analyysitulosten jakauma maan P-luvun mukaisiin luokkiin MYTVAS-alueilla kahtena ajanjaksona.

Figure 4. Distribution of soil P test levels at the MYTVAS study areas (Pyykkönen et al., 2004) during 1995–1999 and 2000–2002. The graph shows that the changes in soil P status at the MYTVAS areas are small, even though in most areas small decrease in average P test level was observed.

Savijoella olisi toisaalta pienten ja toisaalta suurten P-lukujen osuus peltoalasta lisääntynyt keskiarvopitoisuuden pysyessä lähes muuttumattomana (11 mg l⁻¹, mediaani 9:stä ja 8:aan mg l⁻¹); lohkoja kahdella jaksolla oli analysoitu 108 ja 71. Myöskään Taipaleenjoella ei keskimääräinen P-luku (10 mg l⁻¹, mediaani 8 mg l⁻¹ molemmilla jaksoilla) juurikaan muuttunut (ensimmäinen keskiarvo perustui 306 ja jälkimmäinen 53 lohkon tuloksiin), vaikka melko korkeassa P-tilassa olevien peltojen osuus näyttäisi kasvaneen. Yläneenjoella (ensimmäisellä jaksolla 1243 ja toisella 580 lohkoa) P-pitoisuus keskimäärin laski hieman (15:sta 14:ään mg l⁻¹; mediaani molemmilla jaksoilla 11 mg l⁻¹). Haastattelujen perusteella keskimääräiset pitoisuudet olivat siten pääsääntöisesti laskeneet jälkimmäisellä tukikaudella, vaikkakin muutos oli melko vähäinen.

Yläneenjoen alueella verrattiin myös samalta peltolohkolta eri aikoina otettuja näytteitä (Kuva 5). Kaikkiaan Yläneenjoen MYTVAS-alueelta löydettiin 330 peltolohkoa, joiden analyysit vuosilta 1997–2002 oli yhdistettävissä samoille lohkoille peruslohkonumeroiden ja pinta-alojen perusteella, kun aineistosta oli vielä poistettu selkeästi virheellisiltä vaikuttavat tulokset (ts. tulosparit joissa P-luvun muutos noin viiden vuoden aikana oli useita satoja prosentteja).



Kuva 5. Yläneenjoen MYTVAS-alueen 330 peltolohkon P-tilan muutos 4–6 vuoden aikana suhteessa maan P-lukuun. Neliöt edustavat suhteellisen muutoksen keskiarvoa, janat keskiarvon keskivirhettä ja trendiviiva kahden vuoden liukuvaa keskiarvoa.

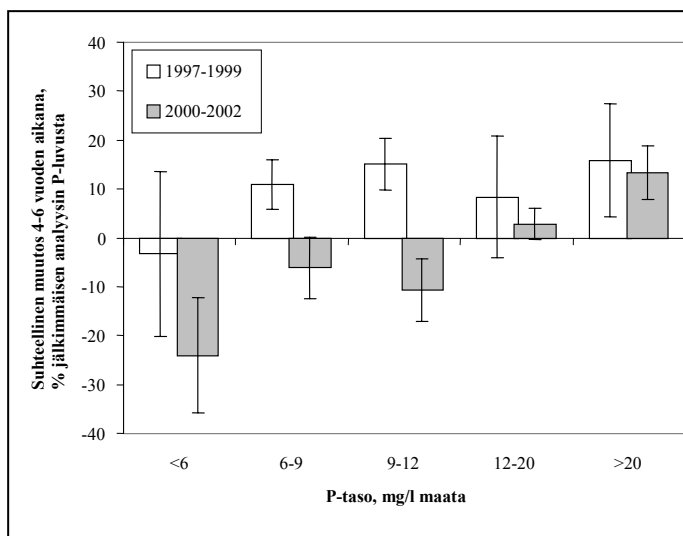
Figure 5. Changes in soil test P (relative to the P status in the latest soil P analysis; y-axis) during 4–6 years at 330 fields of the Yläneenjoki area in different years; error bars indicate standard error of the mean, and the solid line shows two years' moving average. The graph suggests that, on average, soil P status has only during the last years started to decline.

Verrattaessa jälkimmäistä analyysitulosta 4–6 vuotta aiemmin tehdyn analyysin tulokseen voitiin todeta, että vuodesta 2000 lähtien on Yläneenjoen alueella keskimäärin mitattu alhaisempia maan helppoliukoisien fosforin pitoisuuksia kuin edellisessä analyysissä (Kuva 5). Ennen vuotta 2000 maan P-luvut näyttivät kuitenkin edelleen olleen kasvussa, kuten MTT:n seurantatutkimuksen aineistossakin (Kuva 3). Viimeaikainen keskimääräinen P-lukujen laskusuuntaus käy ilmi myös Viljavuuspalvelu Oy:n otosaineistossa, jossa on seurattu samojen eri puolilta maata otettujen peltolohkojen P-luvun kehitystä 1996–2001 (Mäntylähti 2002).

Viljoilla ympäristötuen mukaisen lannoituksen on oletettu laskevan korkeita maan P-lukuja selvästi (Yli-Halla ym. 2001) ja Esalan (2002) mukaan Viljavuuspalvelu Oy:n otosaineistossa vuosilta 1996–2001 laskua onkin tapahtunut erityisesti korkeimmissa P-tiloissa olevilla lohkoilla. Toisaalta Yli-Halla ym. (2001) totesivat, että perunalle ja sokerijuurikkaalle sovellettava perustason mukainen hehtaarikohtainen lannoitus (30–40 kg) ei juurikaan vaikuta maan P-lukuja laskevasti.

Palva ym. (2001) totesivat Yläneenjoen alueella käytetyn perustason mukaisia fosforilannoitusmääriä erityisesti korkeammissa P-luokissa, kun taas alhaisemmissa P-tiloissa oleviin peltoihin saatettiin lisätä fosforia alle perustason. Mahdollisesti tämän seurauksena maan P-tilan kehitys Yläneenjoen alueella (Kuva 6) näyttääkin olleen erilainen kuin Esala (2002) kuvaa. Ajanjaksolla 1997–1999 analysoidujen Yläneenjoen alueen peltolohkojen ($n = 77$) P-lukujen keskiarvo laski ainoastaan alhaisimmassa P-tason luokassa (alle 6 mg l^{-1} ; $n = 6$), kun taas muissa luokissa maan helppoliukoisien fosforin pitoisuudet olivat keskimäärin 10–15 % edellistä analyysikertaa suuremmat. Ajanjaksolla 2000–2002 analysoiduissa näytteissä ($n = 253$) laskua oli havaittavissa myös muissa ryhmissä jotka edustivat alle 12 mg l^{-1} P-lukua, mutta edelleenkin korkeimmalla P-tasolla ($n = 38$) P-luvut keskimäärin kasvoivat vaikkakin maltillisemmin kuin 1997–1999 (Kuva 6).

Koska liuenneen fosforin kuormituspotentiaali on lineaarisesti riippuvainen maan P-luvusta (Kuva 2), on kuormituspotentiaalin kannalta sama millä P-tasolla aleneminen tapahtuu. Kuitenkin on huomattava, että pellon P-luku muuttuu saman fosforimäärän lisäyksellä maahan tai poistumisella esimerkiksi sadon mukana sitä voimakkaammin mitä korkeammasta maan P-tasosta on kyse (kts. Saarela ym., 1995; Yli-Halla ym., 2002). Kun maan P-luku ja siten myös liuenneen fosforin kuormituspotentiaali muuttuvat voimakkaaimmin korkeilla P-tasoilla, voidaan kuormituspotentiaalien muutoksiin vaikuttaa nopeimmin rajoittamalla fosforilannoitusta lohkoilla joiden P-luvut ovat korkeita.



Kuva 6. Yläneenjoen MYTVAS-alueen 330 peltolohkon P-tilan muutos 4–6 vuoden aikana. Kuvan 5 aineisto ryhmitelty P-luvun ja jälkimmäisen analyysin ajankohdan mukaan. Pylväiden tasot edustavat keskimääräistä suhteellista muutosta ja janat keskiarvon keskirhettä.

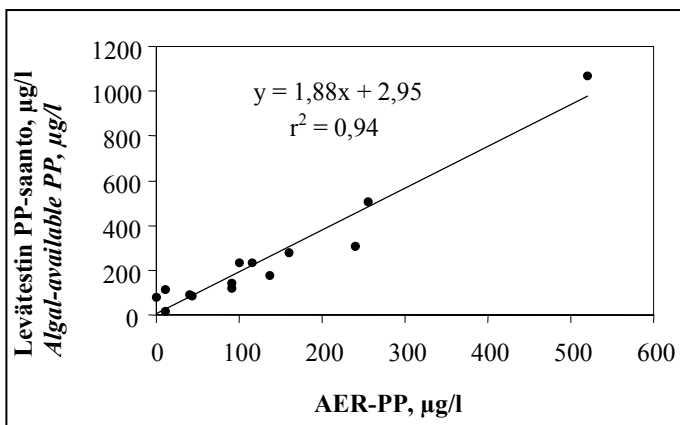
Figure 6. Changes in soil test P (as in Figure 5, but relative to the P status in the latest soil P analysis) during 4–6 years at 330 fields of the Yläneenjoki area in two periods as grouped according to soil test P level (x-axis); error bars indicate standard error of the mean. The graph indicates that moderation of soil test P has predominantly occurred in soils with low P status, instead of the expected decline in extractable P in soils with high or excessive P status.

Valuma-alueetasolla suuri osa liuenneen fosforin kuormituksesta saattaa tulla suhteellisen pieneltä peltoalalta, jonka P-tila on korkea. Esimerkiksi Rehtijärven valuma-alueella puolet liuenneen fosforin kuormituspotentiaalista jyvittyi ainoastaan viidesosalle peltoalasta (Uusitalo ja Jansson 2002). Vastaava laskelma Yläneenjoelle osoittaa 50 % liuenneen fosforin kuormituspotentiaalista jyvittyvän lohkoille, joiden P-luku on 17 tai korkeampi. Näiden lohkojen osuus peltoalasta on noin 25 %.

Leville käyttökelpoinen hiukkasmainen fosfori

Neljän vuoden tarkastelujaksolla Aurajoen, Kotkanojan ja Lintupajun koekentiltä valuvissa vesissä valtaosa (73–94 %) fosforista oli hiukkasmaista. Siten tämän fosforimuodon biologisen käyttökelpoisuuden tunteminen on välttämätöntä rehevöitymisen vähentämistoimien arvioinnissa. Koska biotesit ovat hyvin kalliita, leville käyttökelpoisen fosforin kuormitus arvioitiin tässä työssä huomattavasti halvemmallalla AER-uuttomenetelmällä.

Levätestien avulla arvioidun peltovalumavesien käyttökelpoisen hiukkasmaisen fosforin ja AER-uttoisen hiukkasmaisen fosforin välinen yhteys oli kiinteä ja AER-testin todettiin uuttavan fosforia levien käyttämistä fosforivaroista (Uusitalo & Ekholm 2003). Sameiden peltovalumavesien kohdalla AER:llä uuttuvan hiukkasmaisen fosforin määrä vastasi hieman yli puolta kolmen viikon levätestissä käyttökelpoiseksi tulevasta hiukkasmaisesta fosforista (Kuva 7).



Kuva 7. Leville käyttökelpoisen hiukkasmaisen fosforin pitoisuuden ennustaminen AER-testissä uuttuvan PP:n avulla perustuu AER-testin ja levätestin väliseen yhteyteen 14 sameassa peltovalumavesinäytteessä.

Figure 7. Relationship between anion exchange resin-extractable particulate P (AER-PP) and algal-available particulate P in 3-week bioassays of 14 turbid agricultural runoff samples. The AER-test was in this work used as a surrogate for algal bioassays, and the AER results were converted to algal-available P according to the equation given in the above figure.

Kuvassa 7 annetun yhtälön perusteella laskettiin AER-testin tuloksista neljän koekentän valumavesien leville käyttökelpoisen fosforin kulkeumat, sekä käyttökelpoisen hiukkasmaisen fosforin osuus hiukkasmaisen fosforin kokonaiskuormasta (Taulukko 4). Nämä koekenttäaineiston perusteella tehdyt arviot korostavat hiukkasmaisen fosforin osuutta rehevöittävästä fosforikuormasta. Jos rehevöittäväna kuormana pidetään liuenneen fosforin ja leville käyttökelpoisen hiukkasmaisen fosforin kuormien summaa, muodostuu rehevöittävä kuormitus yhtä suurelta osin näistä kahdesta. Jos oletetaan myös pelkistyneissä oloissa liukenevan hiukkasmaisen fosforin voivan vapautua vastaanottavassa vesistössä, on hiukkasmaisen fosforin kuorman vaikutus rehevöitymiseen 2-3 -kertainen verrattuna liuenneen fosforin kuormaan.

Taulukko 4. Neljän vuoden aikana savimaan huuhtoumakieltä kulkeutuneen fosforin eri jakeiden määrät (Uusitalo ym. 2003). Leville käyttökelpoisen hiukkasmaisen fosforin kuormitus on arvioitu AER-uuhtoisen hiukkasmaisen P:n avulla ja hapettomissa oloissa vapautumiskykyisen hiukkasmaisen fosforin kuormitus pelkistinuuton perusteella; suluissa ilmoitetut luvut ilmaisevat hiukkasmaisen fosforin käyttökelpoisuusarvioiden 95 %:n vaihteluvälin.

Table 4. Transport of P forms from three experimental fields; clayey soils where annual crops were grown. The results show that the export of immediately algal-available dissolved P (DRP) about equalled the transport of the fraction of particulate P (PP) that may become algal-available by desorption (algal-available PP). In turn, transport of PP that may solubilize in reduced sedimentary environment (redox-sensitive PP) greatly exceeded the export of dissolved P. In parentheses are given 95% prediction intervals of the potentially bioavailable PP losses.

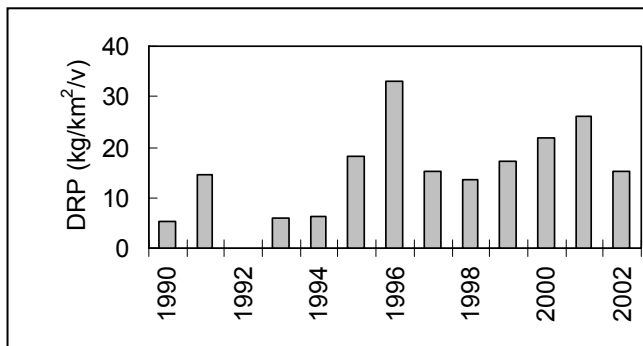
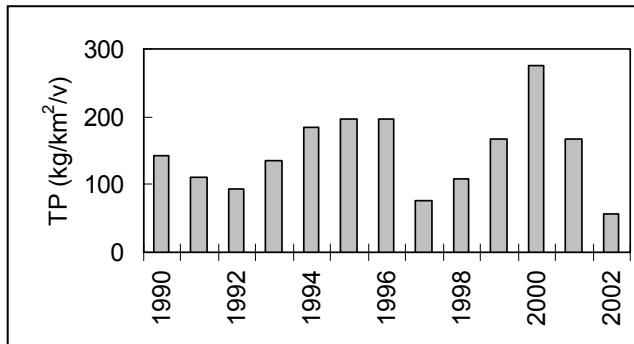
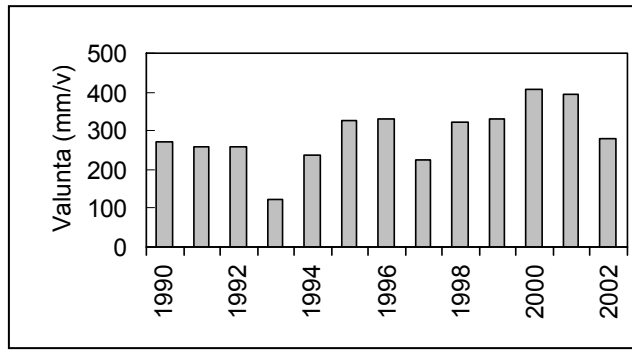
	Valunta Runoff	Liuk. P DRP	Part.- P PP	Leville käyttökelp. PP Algal-available PP	Vapautuva PP, hapettomat olot Redox-sensitive PP	Eroosio Erosion
	mm	g/ha				kg/ha
<i>Aurajoki</i>						
1997–98	136	425	2650	510 (340; 710)	1340 (810; 2190)	1500
1998–99	235	497	2410	470 (360; 790)	1300 (810; 2100)	1170
1999–00	238	411	1680	320 (130; 660)	950 (590; 1530)	1030
2000–01	221	511	1390	260 (75; 560)	810 (500; 1300)	920
<i>Jokioinen</i>						
1997–98	64	35	353	47 (23; 86)	118 (89; 160)	400
1998–99	125	73	232	24 (8; 98)	97 (74; 130)	248
1999–00	60	29	281	38 (13; 71)	99 (75; 130)	296
2000–01	68	34	261	34 (13; 73)	94 (71; 120)	291
<i>Lintupaju</i>						
1997–98	121	183	1022	160 (94; 240)	430 (330; 550)	1325
1998–99	209	197	802	110 (45; 240)	360 (280; 460)	923
1999–00	174	139	847	120 (45; 230)	370 (290; 480)	1037
2000–01	163	125	1974	330 (240; 430)	780 (600; 1020)	2271

Havaitut fosforikulkeumat

Valunnan määrä ja jakautuminen eri vuodenojalle vaikuttavat ratkaisevasti maatalouden fosforikuormitukseen (Vuorenmaa ym. 2002). Kolmen pienen peltoviljelyvaltaisen valuma-alueen vuosittaiset keskivalumat vaihtelivat kaudella 1990–2002 huomattavasti. Esimerkiksi Hovissa suurin vuosivalunta (v. 2000) oli yli 3-kertainen pienimpään (v. 1994) verrattuna (Kuva 8). Myös TP:n ja DRP:n kulkeumat vaihtelivat vuodesta toiseen ilman selvää kehityssuuntaa (ks. kuva 8). Vuosittaisten fosforikulkeumien vaihteluun vaikutti yllättävän vähän vuosivalunnan vaihtelut. Vaikka kulkeuma lasketaan pitoisuuden ja valunnan tulona, valunta selitti vain 18–44 % kokonaisfosforikulkeuman vaihtelusta. Liuenneen reaktiivisen fosforin osalta vastaava prosenttiosuus oli 6–49 %. Heikoin yhteys kulkeuman ja valuman välillä oli Löytäneenojalla. Tulos osoittaa, että valunnan kokonaismäärää tärkeämpää on valunnan jakautuminen kriittisiin ajankohtiin (esim. muokkaukseen ja routaan) nähden.

Taulukossa 5 on esitetty keskimääräinen valunta ja fosforikulkeuma vuosina 1990–1994, 1995–1999 ja 2000–2002. Käyttökelpoisen fosforin, kuten muidenkaan fosforijakeiden kulkeumassa ei kausien välillä ole merkittäviä muutoksia. Kokonaisfosforivirtaamisissa ei ko. kaudella ole havaittu selkeitä muutoksia muillakaan maatalousvaltaisilla intensiivisesti seuratuilla alueilla, kuten Yläneenojalla (Kirkkala 2001, julkaisematon) tai Porvoon-, Vantaan-, Paimion- ja Aurajoella (Granlund ym. 2003). On kuitenkin huomattava, että niin Hovi, Savijoki ja Löytäneenoja kuin em. maatalousjoetkin edustavat peltoviljelyvaltaisia alueita – karjatalousalueiden mahdollisista kuormitusmuutoksista ei ole seurantatietoa.

Kuten aiemmin on kuvattu taulukossa 5 esitetyt käyttökelpoisen fosforin kulkeumat perustuvat käyttökelpoisuuskertoimeen, joka on saatu määrittämällä huuhtoumakentiltä kerättyjä näytteitä. On kuitenkin mahdollista, että huomattavasti suuremmilla MYTVAS-alueilla osa valumavesien käyttökelpoisesta hiukkasmaisesta fosforista on jo vapautunut maa-aineksesta liuenneeseen muotoon, jolloin käyttökelpoisen fosforin määrä maa-ainekilossa on koekenttäainestoon verrattuna pienempi. Tässä tapauksessa taulukon 5 käyttökelpoisuusarviot olisivat liian suuria. Jatkossa olisikin selvitettävä maa-ainesfosforin käyttökelpoisuutta valuma-alueella.



Kuva 8. Vuosittainen keskiarvo ja kokonaisfosforin (TP) sekä liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) kulkeumat Hovin alueella kaudella 1990–2002.

Figure 8. Annual mean runoff and the fluxes of total phosphorus (TP) and dissolved reactive phosphorus (DRP) in the Hovi basin. The figure shows highly variable fluxes during 1990–2002, with peaks more depending on timing of tillage operations and frost-melt than e.g. total flow volumes. Similar fluctuation was also observed at two other monitoring sites.

Taulukko 5. Havaittu keskivalunta, kokonaisfosforikulkeuma (TP) sekä liuenneen fosforin (DRP), leville hapellisissa vesissä käyttökelpoisen fosforin (AAP) sekä pelkistyneissä oloissa vapautuvan fosforin (Red-P) kulkeuma pienillä maatalousvaltaisilla valuma-alueilla. TP- ja DRP-kulkeumat perustuvat Vuorenmaa ym. (2002) ja Granlund ja Ekholm (julkaisematon).

Table 5. Observed mean runoff and the fluxes of total phosphorus (TP), dissolved reactive P (DRP), and an estimate of algal-available P for oxic recipients (AAP) and for anoxic recipients (Red-P), from three agricultural basins. TP and DRP fluxes are based on Vuorenmaa ym. (2002) and Granlund and Ekholm (unpublished).

Alue <i>Basin</i>	Muuttuja <i>Variable</i>	1990– 1994	1995– 1999	2000– 2002
Hovi	valunta (mm) <i>runoff</i>	230	310	360
Savijoki		350	340	330
Löytäneenoja		290	280	260
Hovi	TP (kg/km ² /v)	130	150	170
Savijoki		63	51	55
Löytäneenoja		45	48	41
Hovi	DRP (kg/km ² /v)	8,1*	19	21
Savijoki		9,7	7,9	8,4
Löytäneenoja		9,7	12	12
Hovi	AAP (kg/km ² /v hapellinen <i>oxic</i>	27	40	44
Savijoki		18	15	16
Löytäneenoja		15	17	17
Hovi	Red-P (kg/km ² /v) hapeton <i>anoxic</i>	63	78	87
Savijoki		34	27	29
Löytäneenoja		26	28	25

* 1992 puuttuu, *Excluding 1992*

Vuorenmaa ym. (2002) arvioivat kaudelle 1990–1995 valtakunnalliseksi maatalouden fosforikuormaksi 1500–3700 tonnia vuodessa. Käyttäen tämän vaihteluvälin keskiarvoa maatalouden kokonaisfosforikuormana ja Ekholm ja Krogeruksen (2002) peltovalumavesille laskemaa kokonaisfosforin käyttökelpoisuuskerrointa (0,31), saadaan peltoviljelystä peräisin olevan käyttökelpoisen fosforikuormituksen suuruudeksi 810 tonnia. Tämä vastaa yli 40 % ihmisen aiheuttamasta käyttökelpoisen fosforin kuormituksesta (Ekholm, julkaisematon), maatalouden osuuden kokonaisfosforikuormituksesta ollessa noin 60 % (Ekholm ym. 1999).

Ympäristötuen eri toimenpiteiden vaikutus

Fosforin kulkeumaan keskeisesti vaikuttavat tekijät ovat viljanviljelyssä pintamaan fosforitila ja eroosio. Karjataloudessa kulkeumaan vaikuttavat myös lannan mahdollinen suora huuhtoutuminen sekä erilaiset pistemäiset lähteet, kuten maitohuoneiden pesuvedet.

Pintamaan fosforitilalla on ratkaiseva merkitys valumaveden liuenneen fosforin pitoisuuden säätelyssä. Ympäristötuki edellyttää fosforitilan määrittämistä vähintään viiden vuoden välein. Maan fosforitilan muutos riippuu pellon fosforitaseesta (lannoitteissa ja lannassa annetun fosforin ja sadossa poistuvan fosforin välisestä erotuksesta) sekä lannoitushistoriaan liittyvästä maan fosforikyllästysasteesta. Yhden fosforikilon suuruinen positiivinen fosforitase nostaa maan P-lukua sitä enemmän mitä korkeampi on maan fosforikyllästysaste. Valumavesien kanssa reagoivan maan pintakerroksen fosforikyllästysasteen muutokset puolestaan riippuvat hyvin voimakkaasti siitä kuinka suureen maatilavuuteen lannoitefosfori sekoitetaan. Erityisen voimakkaasti pintakerroksen fosforikyllästys kasvaa fosforin pintalevityksen seurauksena, ja pintalannoitetuilta nurmilla havaitaankin usein hyvin suuria fosforihuuhtoutumia (Haygarth ym. 1998).

Toisaalta korkeat P-luvut myös laskevat pieniä P-lukuja nopeammin P-taseen ollessa lähellä tasapainoa (lisätty ja sadon ottama määrä saman suuruisia), koska maan P-tilan ollessa korkea suurempi osa maahan jääneestä lannoitefosforista muuttuu vähemmän liukoiseen muotoon kuin matalan P-tilan mailla (Saarela ym. 1995, Yli-Halla ym. 2002, Ekholm, julkaisematon). Koska ympäristötuen mukainen peltokasvien peruslannoitus on vain joitakin kiloja suurempi kuin viljasadossa keskimäärin poistuva fosforimäärä (erikoiskasveilla tosin enemmänkin ylijäämäinen), maan P-tila saattaa siten vähitellen alentua fosforin sitoutumislujuuden kasvaessa. Siten ainakin viljalla ympäristötuen peruslannoituksen voidaan olettaa johtavan vähittäiseen P-tilan alenemiseen lohkoilla, joiden P-tila on korkea. On myös huomattava, että ylimääräfosfori ei juurikaan lisää satotasoa korkean P-tilan mailla; Saarela ym:n (1995) mukaan fosforilannoitus tuottaa sadonlisäyksen lähinnä alle 10 mg l⁻¹ helppoliukoista P:a sisältävillä mailla. Täten korkeissa P-luvuissa peruslannoituksena annettu fosfori lisää fosforin huuhtoumariskiä, ilman että sillä olisi juurikaan positiivisia satovaikutuksia ja peruslannoitustasojen käyttöä korkeiden P-lukujen yhteydessä tulisikin välttää.

Lisätoimenpiteen "tarkennettu lannoitus" tarkoituksena on tavoittaa sokeri-juurikaspeltoja lukuun ottamatta maan viljavuusluokka "tyydyttävä". Merkittävimpänä erona peruslannoitustasoihin nähden on, että viljavuusluokissa korkea ja arveluttavan korkea ei perunaa ja sokeri-juurikasta lukuun ottamatta sallita lainkaan fosforilannoitusta. Alhaisissa viljavuusluokissa on puolestaan mahdollisuus perustasoa huomattavasti korkeampaan lannoitustasoon. Siten tarkennetulla lannoituksella on merkitystä fosforikuormitusriskin pienentäjä-

nä lähinnä korkeita P-lukuja omaavilla lohkoilla. Vesistökuormituksen kannalta pyrkimys nostaa matalia fosforilukuja on ongelmallista, sillä maan P-luvun ja DRP-huuhtouman välinen suhde on lineaarinen ja siten kuormitus-potentiaalin muutos on riippumaton P-tasosta (Uusitalo ja Jansson 2002).

Eroosiota torjuvia toimenpiteitä ympäristötuen perusehdoissa ei ole, mutta lisätoimenpiteistä peltojen talviaikainen kasvipeite ja kevennetty muokkaus vähentävät eroosiota (Puustinen 1999). Koska muutama päällimmäinen millimetri maata on voimakkaimmin valumavesien kanssa tekemisissä, esimerkiksi kevennetty muokkaus voi lisätä pintamaan P-lukua ja siten DRP-kuormitusriskiä lannoitefosforin kertyessä aiempaa ohuempaan maakerrokseen (kts. Haygarth ym. 1998, Turtola & Yli-Halla 1999). Hiukkasmaisen fosforin osuus rehevöittävästä fosforista on kuitenkin helposti erodoituvilla mailla niin suuri, että huomattava vähentymä eroosiossa johtanee rehevöittävän fosforikulkeuman laskuun vaikka liunneen fosforin huuhtouma hieman kasvaisikin. Tällöin olisi kuitenkin huolehdittava lannoitteen tehokkaasta multaamisesta ja siitä, että pintamaan fosforitila ei pääse voimakkaasti kasvamaan.

Ympäristötuen perustoimenpiteissä, lisätoimenpiteissä ja erityistukisopimuksissa on useita vesiensuojelutoimia, joiden tarkoitus on pidättää jo liikkeelle lähtenyt hiukkasmaista ja liunnutta fosforia. Tällaisia ovat pientareet ja suojakaistat, suojavyöhykkeiden perustaminen ja hoito sekä muut valumavesien käsittelymenetelmät. Esimerkiksi kosteikkojen teho fosforikulkeuman poistajana vaihtelee huomattavasti kosteikon ominaisuuksien mukaan. Hyvin suunniteltu ja toteutettu kosteikko kykenee poistamaan valumavesistä merkittävän määrän hiukkasmaista (Braskerud ja Løvstad 2002) ja jopa liunnutta fosforia (Koskiaho ym. 2003). Tehokkainta eroosiontorjuntaa edustavat kuitenkin maan dispersiotaipumuksen vähentämiseen johtavat toimenpiteet – esimerkiksi viherkesannointi – sillä ne vähentävät niin pinta- kuin salaojavallan kiintoainespitoisuuksia (kts. Turtola & Jaakkola 1995). Ympäristötukea ei kuitenkaan makseta kesantolohkoille (pl. lisätoimenpide "maatilan monimuotoisuuskohteet"), mikä on vähentänyt viherkesantoalaa merkittävästi Suomessa. Tämä lienee lisännyt fosforikuormitusta yhtäältä huonontamalla viljelysmaidemme rakennetta ja toisaalta kasvattamalla syysmuokattua peltoalaa.

Kotieläintilan lisätoimenpiteistä maitohuoneen pesuvesien käsitteleminen voi paikallisesti vähentää rehevöittävän fosforin kuormitusta, sillä tästä lähteestä tuleva fosfori on leville käyttökelpoisessa muodossa (Ekholm ja Krogerus, 2003) ja fosforipitoisuudet ovat korkeita. Näin ollen rehevöittävän fosforin poisto tällaisista vesistä on yksikkökustannuksiltaan edullista (Närvänen ym. 2002). Tämä toimenpide koskettaa kuitenkin vain pientä osaa karjatalouden kuormituksesta. Fosforikuormitusta voi alentaa myös kotieläintilan erityistukisopimuksista lannan käytön tehostaminen. Lisäksi erityistukisopimuksen voi tehdä luonnonmukaiselle tuotannolle. On kuitenkin epäselvää, onko luo-

mutilojen fosforikuormitus välttämättä pienempi kuin tavanomaisilla tiloilla. Erityisesti luomutuotantoon liittyvä avokesannointi on fosforikuormituksen kannalta ongelmallinen käytäntö.

Eri toimenpiteiden vaikutuksia fosforikulkeumaan tutkitaan usealla eri huuhtoumakentällä, ja tulevaisuudessa niiltä saatu tieto auttaa tarkemmin kohdentamaan maatalouden ympäristötukea.

Johtopäätökset

Maatalous on vesiemme suurin rehevöittävä fosforin lähde. Ympäristötuen ehdot ovat johtaneet alentuneeseen fosforilannoitukseen, tosin lannoitus laski huomattavasti jo ennen ympäristötukea 1970-luvun huippuvuosista. Pienentynyt lannoitus on alkanut vähitellen näkyä peltojen P-luvuissa – ne eivät enää nouse ja joillakin alueilla on havaittavissa laskua. Maatalouden ympäristötuki sisältää myös monia muita pakollisia tai valinnaisia ehtoja, jotka voivat vähentää fosforikuormitusta. Torjumalla eroosiota, parantamalla karjatilojen vesiensuojelua ja pidättämällä jo liikkeelle lähtenyttä fosforia suojavyöhykeisiin ja kosteikkoihin voidaan vähentää vesiin päätyvää rehevöittävää fosforikuormaa. Maatalouden ympäristöohjelman keinovalikoima sisältää siten fosforikuormituksen kannalta monia hyödyllisiä ja perusteltuja toimia. Näiden vaikutus ei kuitenkaan vielä näy valtakunnallisissa kuormitusseurannoissa – maataloudesta peräisin oleva rehevöittävä fosforikuormitus ei ole alentunut. Tähän voi olla useita syitä. Maatalouden kuormitukseen vaikuttaa viljelytoimien ohella voimakkaasti vuosittain suuresti vaihtelevat sääolot. On myös mahdollista, että ympäristötuki ei ole ohjannut toimenpiteitä tehokkaimmalla mahdollisella tavalla. Fosforilannoitusta pitäisi edelleen vähentää osalla peltoalaa (korkeat P-luvut) ja eroosiontorjuntatoimet tulisi suunnata erityisesti erodoituville maalajeille ja kalteville pelloille. Tämän lisäksi viherkesantoalan pieneneminen on saattanut hidastaa fosforikuormien alentumista – maatalouden ympäristötuen myötä luovuttiin kesannointipakosta, mikä johti muokatun viljelyalan osuuden kasvuun.

Ehkä suurin kysymys maatalouden kuormituksen kannalta liittyy karjatalouden fosforivirtoihin. Mahdollisuudet tarkentaa ruokintasuosituksia lannan fosforipitoisuuden laskemiseksi on parhaillaan selvitettyinä. On myös huomattava, että eläintalouden keskittymisen seurauksena siihen liittyvät ravinnevirrat eivät ole alueellisessa tasapainossa.

Kasvintuotannossa fosforikuormituksen tulevaan kehityssuuntaan vaikuttaa neuvonnallisen maa-analyysin käyttö lannoitustarpeen määrittämisessä. Kun maa-analyysi ohjaa viljelijöiden lannoituskäytäntöjä, tulee maa-analyysin tulkintojen mahdolliset muutokset keskeisesti vaikuttamaan maataloudesta peräisin olevan rehevöittävä fosforin kuormitukseen tulevaisuudessa. Koska suuri osa maatalouden kuormituksesta tulee melko pieneltä peltoalalta, tulisi

kuormituksen alentamistoimia nykyistä enemmän suunnata ongelma-alueille. Lisäksi saattaa olla tarpeen tarkastella maatalouden kuormitusta toisaalta vastaanottavan vesistön rehevyydestä ja toisaalta tyyppin mukaan. Kohtuulliseen järven tilaan. Toisaalta mereen laskevilla valuma-alueilla voi eroosion-torjunta olla jopa lannoituksen säätelyä tärkeämpi keino rehevöittävän fosforin vähentäjänä.

Kirjallisuus

- Alakukku, L., Turtola, E., Ventelä, A.-M., Nuutinen, V., Aura, E. & Uusitalo, R. 2004. Suorakylvön soveltuvuus käytännön vesiensuojelutyöhön. Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja Sarja A nro 28. Eura: Pyhäjärvi-instituutti. 92 s.
- Braskerud, B. & Løvstad, Ø. 2002. Tilbakeholdning av algetilgjengelig fosfor konstruerte våtmarker. Jordforsk rapport nr. 83/02. Ås Norja: Jordforsk. 34 s.
- Ekholm, P. 1994. Bioavailability of phosphorus in agriculturally loaded rivers in southern Finland. *Hydrobiologia* 287: 179–194.
- Ekholm, P. & Krogerus, K. 2003. Determining algal-available phosphorus of differing origin: Routine phosphorus analyses vs. algal assays. *Hydrobiologia* 492: 29-42.
- Ekholm, P., Rekolainen, S., Antikainen, S. & Grönroos, J. 1999. Country paper from Finland. In: van der Kraats, J.A. (ed.). Fifth scientific and technical review of EurAqua. Farming without harming: The impact of agricultural pollution on water systems Oslo, Norja 7.–8.10.1998. Lelystad Norja: EurAqua. s. 45–56.
- Esala, M. 2002. Viljavuusanalyysi ympäristön tilan ohjauskeinona ja maan kasvukunnan ilmaisijana. Teoksessa: Uusitalo, R. & Salo, R. (toim.). Tutkittu maa - turvalliset elintarvikkeet: Viljavuustutkimus 50 vuotta - juhlaseminaari, Jokioinen 24.9.2002. Maa- ja elintarviketalous 13. Jokioinen: MTT. s. 14–19.
- Granlund, K., Ekholm, P., Räike, A. & Rankinen, K. 2002. Achievement of water protection targets for agricultural nutrient loading in Finland. *Journal of Hydrology* (painossa).
- Haygarth, P. M., Hepworth, L. & Jarvis, S. C.. 1998. Forms of phosphorus transfer in hydrological pathways from soil under grazed grassland. *European Journal of Soil Science* 49: 65–72.
- Kirkkala, T., 2001. Ravinnekuormituksen kehitys on monen tekijän summa. Teoksessa: Mattila, H. ym. (toim.). Pyhäjärvi – yhteistyöllä vauhtia vesiensuojeluun Lounais-Suomessa. Pyhäjärven suojelurahaston ensimmäisen

- toimikauden loppuraportti. Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja 26. Eura: Pyhäjärvi-instituutti. s. 31–38.
- Koskiahho, J., Ekholm, P., Rätty, M., Riihimäki, J & Puustinen, M. 2003. Retaining nutrients in constructed wetlands – experiences under boreal conditions. *Ecological Engineering* 20: 89–103.
- Kähäri, J., Mäntylahti, V. & Rannikko, M. 1987. Suomen peltojen viljavuus 1981–1985. Mikkeli: Viljavuuspalvelu Oy. 105 s.
- Mäkelä-Kurtto, R. & Sippola, J. 2002. Monitoring of Finnish arable land: changes in soil quality between 1987 and 1998. *Agricultural and Food Science in Finland* 11: 273–284.
- Mäntylahti, V. 2002. Peltojen ravinnetilan kehitys 50 vuoden aikana. Teoksessa: Uusitalo, R. & Salo, R. (toim.). *Tutkittu maa - turvalliset elintarvikkeet: Viljavuustutkimus 50 vuotta -juhlaseminaari*, Jokioinen 24.9.2002. *Maa- ja elintarviketalous* 13. Jokioinen: MTT. s. 5–13.
- Närvänen, A., Jansson, H. & Yli-Halla, M. 2002. Treatment of wastewater from milk rooms with ferric sulphate. *Large Rivers* 13: 333–339.
- Palva, R., Rankinen, K., Granlund, K. & Grönroos, J. 2001. Maatalouden ympäristötuen toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 1995–1999. MYTVAS-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 478. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 92 s.
- Pietiläinen, O.-P. & Rekolainen, S. 1991. Dissolved reactive and total phosphorus load from agricultural and forested basins to surface waters in Finland. *Aqua Fennica* 21: 127–136.
- Puustinen, M. 1999. Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Suomen ympäristö 285. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 116 s.
- Pyykkönen, S., Grönroos, J., Rankinen, K., Laitinen, P. Karhu, E. & Granlund, K. 2004. Ympäristötuen mukaiset viljelytoimenpiteet ja niiden vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 2000–2002. Suomen ympäristö 711. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 119 s.
- Rekolainen, S., Posch, M., Kämäri, J. & Ekholm, P. 1991. Evaluation of the accuracy and precision of annual phosphorus load estimates from two agricultural basins in Finland. *Journal of Hydrology* 128: 237–255.
- Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H. & Rinne, K. 1995. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977–1994. *Tiedote* 16/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 94 s.
- Turtola, E. & Jaakkola, A. 1995. Loss of phosphorus by surface runoff and leaching from a heavy clay soil under barley and grass ley in Finland. *Acta*

- Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science 45: 159–165.
- Turtola, E. & Yli-Halla, M. 1999. Fate of phosphorus applied in slurry and mineral fertilizer: accumulation in soil and release into surface runoff water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 165–174.
- Uusitalo, R. ja P. Ekholm. 2003. Phosphorus in runoff assessed by anion exchange resin extraction and an algal assay. *Journal of Environmental Quality* 32: 633–641.
- Uusitalo, R. & 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. 2003. Determination of redox-sensitive phosphorus in field runoff without sediment preconcentration. *Journal of Environmental Quality* 32: 70–77.
- Uusitalo, R., Turtola, E., Puustinen, M., Paasonen-Kivekäs, M. & Uusi-Kämpö, J. 2003. Contribution of particulate phosphorus to runoff phosphorus bioavailability. *Journal of Environmental Quality* 32: 2007–2016.
- Vuorenmaa, J., Rekolainen, S., Lepistö, A., Kenttämies, K. & Kauppila, A. 2002. Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s. *Environmental Monitoring and Assessment* 76: 213–248.
- Yli-Halla, M., Nykänen, A., Siimes, K., & Tuhkanen, H.-R. 2001. Ympäristötu- en ehdot ja maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus. MTT:n julkaisuja. Sarja A 77. Jokioinen, MTT. 45 s.
- Yli-Halla, M., H. Hartikainen, & P. Väätäinen. 2002. Depletion of soil phosphorus as assessed by several indices of phosphorus supplying power. *European Journal of Soil Science* 53: 431–438.

Maan rakenteen ja pintavaluntariskien arviointi

Juha Eskelinen ja Laura Alakukku

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristöntutkimus, 31600 Jokioinen, laura.alakukku@mtt.fi

Tiivistelmä

Maan rakenne vaikuttaa peltoviljelyn aiheuttamaan ympäristökuormitukseen. Näkyvin seuraus huonosta rakenteesta on veden hidas imeytyminen maahan, mikä lisää pintavalunnan, eroosion ja fosforin huuhtoutumisen riskiä. Hankkeessa seurataan pintavesien esiintymistä viljelytavaltaan erilaisilla lohkoilla. Tavoitteena on muodostaa seurannassa kerättävän ja uusimman tutkimustiedon perusteella käsitys siitä, mitkä ovat tärkeimmät tekijät, jotka lisäävät maan makrohuokostoa ja vähentävät pintavesien esiintymistä. Hankkeessa arvioidaan, miten maatalouden ympäristötuen lisätoimenpiteisiin lukeutuvat keinot (kasvipeitteisyys, kevennetty muokkaus) vaikuttavat maan rakenteeseen ja pintaveden esiintymiseen. Vuonna 2001 ko. lisätoimenpiteeseen sitoutuneita tiloja oli 35 114 kpl, joiden yhteenlaskettu sitoumusala oli 887 400 ha.

Hankkeessa on seurattu vuodesta 2001 alkaen maan rakenneongelmia indikoivien märkyysongelmien sekä niistä aiheutuvien kasvuston kellastumisen esiintymistä viljelytavoiltaan erilaisilla Etelä-Suomen savi- ja hiesumailla. Verrattavat viljelymenetelmät ovat kyntö, sänkimuokkaus ja kesantonurmi tai viljelykierto, johon sisältyy nurmea.

Tulosten mukaan märkyysongelmia esiintyi keskimäärin eniten sänkimuokattavilla lohkoilla. Niillä lätäköiden ja painanneveden peittämää aluetta oli kaikilla havaintokerroilla keskimäärin 0,48 % lohkoalasta, kun vastaava luku kynnettävillä lohkoilla oli 0,20 % ja heinälohkoilla 0,27 %. Kellastunutta ja harvaa kasvustoa oli sänkimuokattavilla lohkoilla keskimäärin 0,40 %, kynnettävillä 0,10 % ja heinälohkoilla 0,24 %. Tilastollisesti merkitseviä eroja käsittelyjen välillä ei havaittu.

Tulosten perusteella suurin pintavalunnan riski oli sänkimuokattavilta lohkoilta. Keskimäärin lätäköiden ja painanneveden peittämää aluetta esiintyi kuitenkin vähän. Lisäksi osaa lohkoista oli siirtymävaiheessa, koska niitä oli sänkimuokattu vähemmän kuin viisi vuotta. Märkyysongelmia aiheutti mm. huonosti toimiva salaojitus ja pellon pinnan vettä keräävä muotoilu.

Avainsanat: ympäristö, maan rakenne, pintavalunta, kyntö, kevennetty muokkaus, viljelykierto, ympäristötuki, kuormitus, suorakylvö

Evaluation of soil structure and surface runoff risk

Juha Eskelinen and Laura Alakukku

MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research, FIN-31600 Jokioinen, Finland,
laura.alakukku@mtt.fi

Abstract

The objective of the project is to evaluate the effects of agri-environment protection scheme methods (stubble cultivation, crop rotation etc.) on soil structure, surface water occurrence and runoff risk. In 2001, the number of farms committed to crop cover and conservation tillage methods was 35 114 and the total engagement area was 887 400 hectares. Project is connected with the parts of agri-environment protection scheme the aim of which is to maintain good soil structure and prevent runoff, erosion and leaching. The effectiveness and suitability of the protection scheme in Finnish conditions are evaluated on the grounds of the results of this project and research knowledge.

In the present project the existence of areas covered by surface water, ponding water and wet soil were observed on the fields of 13 private farms in 2001-03. Also the areas of sparse or yellow growth and without vegetation were observed. These are considered as indicators of poor soil structure. The farms located on clay and silt soils in southern and southwestern Finland. Each farm had 3 fields where cultivation methods 1) conventional tillage (CT), 2) conservation tillage (RT) and 3) grass fallow or crop rotation including ley (Grass) were compared. The treatments were: (CT) the plot was supposed to be ploughed annually; (RT) the plot was supposed to be treated according to the regulations based on the Agri-Environmental programme, in practice chiselling or no tillage, and (Grass) grass fallow or crop rotation including ley, for example dry hay or seed production, no pasture or silage. The average slope of the plots varied usually between 0-2 %, the slope of one CT-plot was about 4 %.

The area of indicating poor soil structure was determined by satellite positioning. The areas suffering from excess water were classified as surface water (area completely covered by water), ponding water (area partly covered by water) and wet soil (the soil is completely saturated by water, but no water exists at the top of the soil). Observations were made each year in spring after snow was melt away, every year in June-July, in September 2001, and in November-December 2001 and 2003. No observations were made in the end of 2002 because of drought. During each observational period either all or

selected farms were observed. The functioning of drainage system has been noted since 2002.

The coverage of areas suffering from excess water was largest in RT, which means the most extensive surface runoff risk, too. Statistically significant differences between the treatments were not found when testing each observational period separately. On the average of the period 2001-03 the area covered by surface water and ponding water together was 0.48 % for the treatment RT, while the coverage for CT was 0.20 %, and for Grass 0.27 %. The area of sparse or yellow growth and without vegetation was 0.40 % in RT, 0.10 % in CT, and 0.24 % in Grass. The mean coverage areas were, however, small. The coverage of the problem areas existing repeatedly at the same positions during different observational periods behaved similarly. Some of the RT fields were in transition period (conservation tillage period less than 5 years) which might affect the results.

Key words: soil structure, surface runoff, conventional tillage, ploughing, conservation tillage, stubble cultivation, crop rotation, GPS

Johdanto

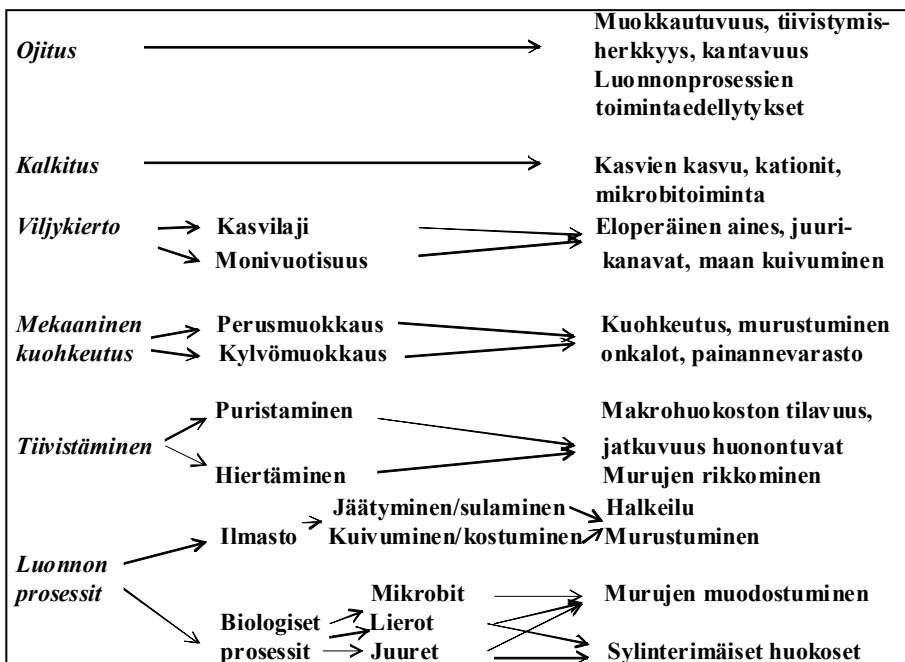
Peltoviljelyn ympäristökuormituksen muodostumisen kannalta keskeisiä muuttujia, joihin maan rakenne vaikuttaa, ovat maan vesitalous, mururakenteen kestävyys ja maan sadontuottavuus. Kuvassa 1 esitetään maan rakenteen merkitys peltoviljelyssä ja sen huonontumisen vaikutukset peltoviljelyn ympäristökuormitukseen. Dexter (1997) on todennut, että maan rakenteen karakterisointi on keskeistä peltoviljelyyn liittyvissä ympäristötutkimuksissa, jos halutaan ymmärtää maan toiminta osana systeemiä, mikä on välttämätöntä kehitettäessä menetelmiä kuormituksen vähentämiseksi.

Maan rakenteen toimivuus vaikuttaa sen kykyyn varastoida vettä ja veden liikkumiseen maassa. Tämä vaikuttaa pellolta vesistöön tulevan pinta- ja salaojavalunnan määrään ja keskinäiseen suhteeseen. Kun maan rakenne on hyvä, vesi imeytyy maahan nopeasti ja maa läpäisee vettä hyvin. Hyvä maan vedenläpäisevyys on oleellista valunhuippujen aikaan aikaisin keväällä ja myöhään syksyllä. Jos maa läpäisee vettä hitaasti tai se ei pysty varastoimaan hetkellisesti kymmeniä millijä sadevettä, vesi kerääntyy maan pinnalle. Tämä kasvattaa pintavalunnan, eroosion ja fosforin huuhtoutumisen riskiä.

Rakenteen kestävyys vaikuttaa siihen, kuinka paljon vesi pystyy irrottamaan maa-ainesta ja siihen sitoutuneita ravinteita mukaansa. Kestävä mururakenne vähentää maan liettymistä, kuorettumista ja eroosiota. Jos maan pintarakenne liettyy helposti, veden imeytyminen hidastuu. Mururakenteen hajotessa vesi irrottaa ja/tai siihen diffuntoituu maa-ainesta, joka voi kulkeutua valunnan mukana pois pellolta. Etenkin maan pintarakenteen kestävyys on tärkeää, sillä mittauksen perusteella tiedetään, että savimailla merkittävä osa myös salaojien kautta tulevasta eroosioaineksesta on peräisin pintamaasta (Uusitalo ym. 2001).

Hyvärakenteisessa maassa kasvusto on rehevä ja tasainen. Se ottaa tehokkaasti ravinteita, mikä vähentää niiden huuhtoutumista pellolta vesistöön. Typpikuormituksen vähentämisessä kasvuston runsas tynen otto on keskeinen tekijä.

Suomessa tilakoko on kasvanut viimeisen kymmenen vuoden aikana selvästi. Yksikkökoon kasvu todennäköisesti lisää hyvän maan rakenteen merkitystä peltoviljelyssä, sillä esimerkiksi kyntämättä viljelyyn tai suorakylvöön ei voida siirtyä huonorakenteisilla mailla. Yksikkökoon kasvu lisää maan rakenneongelmien todennäköisyyttä, jos peltotöitä tehdään sen seurauksena entistä enemmän maan ollessa märkää. Kun yksikkökoko kasvaa pellon vuokrauksen kautta, viljelijän voi olla vaikea löytää taloudellisia kannusteita maan kasvukunnon ylläpitoon. Tällä hetkellä 30 – 40 % Suomen pelloista on vuokraviljelyssä (Myyrä & Pietola 2004). Yksikkökoon kasvu voi kuitenkin



Kuva 2. Viljelyn ja luonnonprosessien vaikutus maan huokos- ja mururakenteen muodostumiseen ja ylläpitoon (Alakukku 2002).

Figure 2. Effects of cultivation and biological processes on soil porosity and aggregation (Alakukku 2002).

myös parantaa mahdollisuuksia ylläpitää hyvää maan rakennetta. Suuressa yksikössä viljelykierto on helpompi toteuttaa kuin pienessä.

Lisäksi yksikkökoon kasvu auttaa hyödyntämään aikaisempaa tehokkaammin koneiden kapasiteetin, joka on yleensä Suomen olosuhteissa vajaakäytössä. Tämä mahdollistaa sen, että peltoviljelyssä voidaan jatkossa soveltaa uusinta teknologiaa taloudellisesti järkevästi, kun koneilla tehdään työtunteja kasvu-kauden aikana nykyistä selvästi enemmän.

Maan rakenteen hoidon tavoitteita ovat toimivan huokoston ylläpitäminen (mm. Alakukku 2000) ja kestävä mururakenteen muodostaminen (mm. Dexter 1988). Maan toiminnan kannalta on tärkeää makrohuokosten määrä (halkeisija $\geq 0,03$ mm), jakautuminen ja jatkuvuus, jotka vaikuttavat merkittävästi veden liikkumiseen märässä maassa (Alakukku 2000). Maan rakenne on viljelysysteemin kiinteä osa (Kuva 1). Maan lajitekoostumus ja eloperäisen aineksen määrä asettavat reunaehdot sille, minkä tyyppinen rakenne maahan voi muodostua. Maan viljely (ojitus, kalkitus, viljelymenetelmät ja -kierto, konevalinnat) sekä kemialliset, fysikaaliset ja biologiset toiminnot vaikuttavat kuitenkin merkittävästi rakenteen muodostumiseen. Kuvassa 2 esitetään

maan rakenteen kannalta tärkeiden viljelytoimenpiteiden vaikutuksia rakenteen syntyyn ja ylläpitoon. Osa näistä viljelytoimenpiteistä sisältyy maatalouden ympäristötukeen.

Maatalouden ympäristötukijärjestelmään sitoutunut viljelijä (ei kotieläintilan ehtoihin sitoutunut viljelijä, jonka tilalla kasvatetaan nautoja, hevosia tai lampaita) voi valita lisätoimenpiteeksi peltojen talviaikaisen kasvipeitteisyyden ja kevennetyn muokkauksen (Ympäristötukiopas 2000).

Tavoitteena on suojata pellon pintaa sade-, sulamis- ja valumavesien eroosiota aiheuttavalta vaikutukselta ja estää maa-ainekseen sitoutuneen fosforin ja veteen liunneen typen huuhtoutumista vesistöihin ja pohjamaahan (Ympäristötukiopas 2000). Toimenpiteenä viljelijän tulee pitää 30 % maatalon tuki- kelpoisten peltolohkojen pinta-alasta kasvukauden ulkopuolella kasvien tai kasvijätteen peittämänä tai hyväksytyllä tavalla kevennetysti muokattuna (Ympäristötukiopas 2000). Kasvipeitteisyyden tulee säilyä lohkoilla kylvömuokkaukseen tai vastaavaan viljelytoimenpiteeseen asti.

Kevennetty perusmuokkaus toteutetaan yleensä korvaamalla kyntö kultivoinnilla, lapiorulla- tai lautaäestyksellä, miniauralla tai joustopiikkiäestyksellä. Muokkaus täyttää ehdon, kun se on tehty vähintään 10-15 cm:n syvyyteen (Ympäristötukiopas 2000). Viime vuosina on yleistynyt suorakylvö, jossa siemen kylvetään esikasvin jälkeen ilman erillistä muokkausta. Vuonna 2002 suorakylvöalaksi arvioitiin 30 000 ha ja vuonna 2003 50 000-100 000 ha. Suorakylvössä maa on sänkenä puinnin ja kylvön välin.

Kasvipeitteeksi katsotaan myös ennen 10.9. kylvetty ruis, ruisvehnä tai syysvehnä, nurmi, monivuotinen viherkesanto, suojakaistat ja suojavyöhykkeet, monivuotiset puutarhakasvit, viljan ja öljykasvien sänki, joka muokataan seuraavana keväänä, keväällä korjattava kuitupellava tai –hamppu, kerääjä- ja aluskasvien viljely (muokkaus mahdollisimman myöhään) ja sokerijuurikas-pellot (oltava riittävät pientareet ja suojakaistat) (Ympäristötukiopas 2000).

Vuonna 2001 kasvipeitteisyys ja kevennetty muokkaus –lisätoimenpiteeseen sitoutuneita tiloja oli 35 114 kpl, joiden yhteenlaskettu sitoumusala oli 887 400 ha (Maatalouden ympäristötuen seurantaryhmän väliraportti 2003). Taulukossa 1 on esitetty lisätoimenpiteen valinneiden tilojen osuus kokonaisviljelyalasta ja lisätoimenpiteen toteuttamistapa MYTVAS-haastatteluilta alueilla vuonna 2002. Kaikilla MYTVAS-haastattelualueilla kasvipeitteisyyden tai kevennetyn muokkauksen osuus viljelyalasta oli yli 30 % (Taulukko 1). Haastatelluista tiloista Etelä-Suomessa syysvilja, sänki ja kevennetty muokkaus olivat suosituimmat tavat toteuttaa kasvipeitteisyys (Taulukko 1). Lestijoen ja Taipaleenjoen alueella taas nurmi oli yleisin tapa (Taulukko 1). Yläneenjoella ja Lepsämänjoella nurmen osuus oli v. 2002 pienempi kuin vuosina 1994-1999 tehdyissä kyselyissä tilastoitiin (Palva ym. 2001).

Pintavesi on eräs maan rakenneongelmien indikaattori. Pintavesien havainnointi tarjoaa taloudellisen ja nopean tavan kartoittaa maan rakenneongelmien esiintymistä. Tämän hankkeen tavoitteena on seurata pintavesien esiintymistä viljelytavaltaan erilaisilla lohkoilla, tutkia maan rakenteen osuutta pintavesien esiintymisessä sekä muodostaa seurannassa kerättävän ja uusimman tutkimustiedon perusteella käsitys tärkeimmistä tekijät, jotka lisäävät maan makrohuokostoa ja vähentävät pintavesien esiintymistä. Samalla arvioidaan, miten ympäristötuen lisätoimenpiteisiin lukeutuvat keinot (esim. sänkimuokaus) vaikuttavat maan rakenteeseen ja pintaveden esiintymiseen.

Hankkeessa tuotetaan tietoa maatalouden ympäristötuen tavoitteiden saavuttamiseksi. Se liittyy tukitoimenpiteisiin, joiden tavoitteena on ylläpitää hyvä maan rakenne, lisätä humuksen määrää maaperässä ja vähentää ympäristöön ja erityisesti pinta- ja pohjavesiin sekä ilmaan kohdistuvaa kuormitusta, kasvinravinteiden hyväksikäyttöä lisäämällä (Ympäristötukiopas 2000). Hanke liittyy seuraaviin ympäristötuen toimenpiteisiin (Ympäristötukiopas 2000):

- perustoimenpide: viljelyn ympäristösuunnittelu ja seuranta (viljelysuunnitelma, tavoitteena kasvinvuorotus), lohko-kohtaiset muistiinpanot (suositus merkitä mm. poikkeukselliset kosteusolot lohkoilla) ja viljelijäkoulutus (maan rakenne ollut viljelijäkoulutuksen 2 päivän teemana usean maaseutukeskuksen alueella)
- lisätoimenpide: peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys ja kevennetty muokkaus

Taulukko 1. Kasvipeitteisyyden toteutuminen MYTVAS-haastattelualueilla vuonna 2002. Suhteellinen osuus kasvipeitteestä tai kevennetysti muokatus- ta alasta. (Pyykkönen ym. 2004).

Table 1. Type of crop cover (relative to total area of crop cover) on the MYTVAS areas in 2002 (Pyykkönen ym. 2004).

	Yläneen- joki (%)	Lepsä- mänjoki (%)	Savijoki (%)	Löytä- neenoja (%)	Lesti- joki (%)	Taipa- leenjoki (%)
Ei syysmuokkausta <i>No autumn tillage</i>	<u>48,0</u>	<u>26,0</u>	<u>13,5</u>	<u>41,3</u>	<u>97,9</u>	<u>100</u>
Nurmi <i>Grass</i>	10,8	5,8	6,2	-	88,4	97,2
Viherkesanto <i>Green fallow</i>	9,1	17,2	3,9	8,4	5,9	2,2
Suojakaista,-vyöhyke <i>Buffer belt, buffer zone</i>	1,0	0,3	0,2	-	4,2	0,1
Moniv. puutarhakasvi <i>Perennial gardenplant</i>	0,2	-	-	5,7	-	-
Sänki <i>Stubble</i>	26,9	2,7	3,2	27,2	-	-
Pellava, hamppu <i>Flax, hemp</i>	-	-	-	-	-	-
Syysviljat <i>Winter cereals</i>	17,7	27,5	65,5	13,1	2,2	-
Kerääjä –tai aluskasvi <i>Catch crop, undersown crop</i>	-	5,1	-	-	-	-
Sokerijuurikas <i>Sugar beet</i>	0,3	-	3,4	21,2	-	-
Kevennetty muokkaus <i>Conservation tillage</i>	34,1	41,5	17,7	24,5	-	-
Toimenpidealan osuus kokonaisviljelyalasta (%) <i>Crop cover/conservation tillage area relative to total cultivated area (%)</i>	45,7	48,4	54,4	46,3	52,4	31,2

Aineisto ja menetelmät

Lohkot ja niiden valinta

Hienojakoisilla maalajeilla maan huonosta rakenteesta aiheutuvat haitat ilmenevät herkemmin kuin karkeissa maissa. Lisäksi savialueella on todettu, että peltojen valumavesissä kulkeutuu huomattavia määriä kiintoainesta, josta suurin osa on hyvin hienojakoista (savesta) ja samalla kemiallisesti reaktiivisinta maa-ainesta. Pintavesi irrottaa ja kuljettaa hienojakoista materiaalia, johon fosfori on kiinnittynyt, helpommin ja kauemmaksi kuin karkeita maahiukkasia. Näillä perusteilla hanke rajattiin salaojitettuihin savi- ja hiesumaihin, joihin Suomen pelloista kuuluu noin 50 % (Puustinen ym. 1994). Savimaiden osuus (savesta 30 %) Suomen viljelystä pinta-alasta on noin 35 % (Puustinen ym. 1994). Näitä maita on lähinnä Etelä- ja Lounais-Suomessa. Helsingin ja Turun vesi- ja ympäristöpiirin alueiden pelloista, joista valtaosa on savimaita, on salaojitettu n. 75 % ja hieman yli 10 % pelloista on avo-ojissa (Puustinen ym. 1994). Tällä alueella viljellään pääasiassa yksivuotisia kasveja.

Vuoden 2001 aikana seurattavaksi valittiin 13 kolmen lohkon muodostama kokonaisuus Varsinais-Suomen, Hämeen, Uudenmaan ja Kymenlaakson alueelta (Kuva 3). Yhden kokonaisuuden muodostivat kynnettävä ja sänkimuokattava lohko sekä heinälohko. Lohkoja valittaessa painotettiin seuraavia asioita:

- kunkin tilan/tilaparin lohkot sijaitsisivat mahdollisimman lähellä toisiaan, mieluiten vierekkäin, ja olisivat samankaltaisia maalajin, multavuuden, kaltevuuden, ojituksen ym. ominaisuuksien suhteen
- kynnettävää lohkoa muokattaisiin kyntämällä ja sänkimuokattavaa lohkoa ympäristötuen kasvipeitteisysehdon täyttävällä tavalla yhtäjaksoisesti vuoteen 2006 asti
- kynnettävillä ja sänkimuokattavilla lohkoilla kasvatettaisiin yksivuotisia kasveja
- heinälohkon viljelykiertoon sisältyy monivuotinen viherkesanto, siemen- viljely- tai kuivaheinänurmi, mutta ei laidunta eikä säilörehunurmea
- viljelymenetelmä kullakin loholla olisi pysynyt samana mahdollisimman pitkään ennen seurantajakson alkamista.

Seurantaan mukaan otetuista tiloista suurin osa oli kasvinviljelytiloja. Tutkimuksen alkaessa yhdellä tilalla kasvatettiin lihanautoja sekä yhdellä sikoja. Lohkot olivat tavanomaisessa viljelyssä. Lohkojen taustatiedot, viljelyhistoria, kuten viljelykasvit eri vuosina, muokkaus, viljelyssä käytetty koneistus, maa-analyysitulokset, lannan käyttö, kalkitus, ojitus ym. kerättiin viljelijälle tehdyllä haastattelulla mahdollisimman pitkältä ajalta. Viljelijöiltä kerättyjä viljavuusanalyysituloksia esitetään Taulukossa 2. Lohkojen keskikaltevuus vaihteli välillä 0-2 %, paitsi tilan 6 kynnettävällä loholla se oli noin 4 %. Osalla tiloista lohkot olivat tasaisesti viettäviä.

Seurantajaksolla käytetyt perusmuokkausmenetelmät esitetään Taulukossa 3. Hanke alkoi vuonna 2001, joka oli siirtymäkausi. Osa lohkoista aloitti hankkeen mukaiset muokkaukset vasta ko. vuonna. Hankkeen myötä myös tiloilla 2 ja 13 oli tarkoitus aloittaa tiettyjen lohkojen kyntäminen. Tilalla 2 muokkauksia ei kuitenkaan ole tehty syksyn 2000 jälkeen suorakylvöön siirtymisen takia, seurannassa tila on pidetty mukana suorakylvötilana. Tilalla 13 lohkon kyntämistä ei ole katsottu mielekkääksi alan pienuuden takia, lohkoa viljelläänkin osana sänkimuokattavaa lohkoa. Molemmille tiloille on valittu uudet kynnettävät lohkot, joita aletaan seurata vuodesta 2004 alkaen. Osalla tiloista kaikkia syksyn 2002 muokkaustoimenpiteitä ei voitu toteuttaa suunnitellulla tavalla maan liiallisen kuivuuden ja kovuuden takia. Sänkimuokkauslohkojen jääminen sängeksi toteuttaa ympäristötuen ehtoja, mikä vastaa hankkeen tavoitetta. Vuonna 2002 tilojen 3 ja 12 sänkimuokattavilla lohkoilla toteutettiin täydennyssalaoitus, osa tilan 9 kynnettävästä lohokosta täydennysojitettiin vuoden 2003 aikana.

Ennen seurantaa kyntölohkoja yleensä kynnettiin. Poikkeuksia olivat tilat 4 ja 13, joissa lohkoja oli kultivoitu vuodesta 1995 alkaen. Useilla tiloilla sänkimuokattavia lohkoja oli kultivoitu vähintään 5 vuoden ajan. Tiloilla 1, 8 ja 12 kultivointi aloitettiin vuonna 1999 ja tiloilla 7 ja 11 vuonna 2001. Tilojen 4 ja 5 sänkimuokattavat lohkot kynnettiin välillä kerran 1990-luvun lopulla.

Viljelykasvit seurantajakson aikana eri lohkoilla esitetään Taulukossa 4. Pääsääntöisesti kynnettävillä ja sänkimuokattavilla lohkoilla viljeltiin yksivuotisia kasveja 1990-luvun puolivälin jälkeen. Tilalla 2 kyntölohko oli siemenviljelynurmena vuodesta 1997 lähtien, ja tilan 12 kyntölohko viherkesantona vuosina 1999-2000. Nurmea kasvoi myös tilan 8 sänkimuokattavalla loholla vuosina 1994-98, sekä osalla tilan 12 sänkimuokattavasta lohokosta 1995-96.



Kuva 3. Seurantatilojen sijainti Etelä-Suomen alueella.

Figure 3. The location of the experimental farms in southern Finland.

Taulukko 2. Lohkojen muokkauskerroksen (0-20 cm) viljavuusanalyysissä määritetty maalaji, multavuus sekä fosforipitoisuus. Koejäsenet ovat: Kyntö = kynnettävä lohko, Sänki = sänkimuokattava lohko ja Heinä = heinäkierron sisältävä lohko.

Table 2. The soil type and soil organic matter (SOM) class of the fields at the topsoil (0-20 cm). Treatments: CT = conventional tillage, RT = conservation tillage, Grass = grass fallow or crop rotation including ley. The determinations are made by commercial soil testing laboratories. Soil P is determined by using acid ammonium acetate buffer (pH 4.65).

Tila nro Farm number	Maalaji Soil type			Multavuus SOM class			Maan P mg l ⁻¹ Soil P mg l ⁻¹		
	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass
1	HtS	HtS	HtS	rm	rm	m	10	6	10
2	sHHt	sHHt	sHHt	m	vm	m	11	17	9
3	HtS	HtS	HtS	m	m/rm	m	39	31	11
4	HeS	HeS	HtS	m	m	m	6	8	4
5	HtS	HeS	Hs	m	m	vm	10	7	11
6	He	He	He	m	m	m	13	14	10
7	HtS	HeS	HeS	rm	m	m	9	8	9
8	LjS	LjS	HeS	m	m	rm	10	15	6
9	Hs	HeS	Hs	rm	m	m	10	10	3
10	HeS	HeS	HeS	rm	rm	rm	7	5	6
11	HsS	HsS	HeS	m	m	rm	21	21	11
12	HsS	HsS	HsS	rm	m/rm	rm	9	21	9
13	HtS	HtS	HtS	m	m	m	7	7	12

HHt	hieno hietä/fine sand	vm	vähämultainen/ SOM content < 3 %
Hs	hiesu/silt		
HtS	hietasavi/sandy clay	m	multava/ SOM content 3-5,9 %
HeS	hiuesavi/clay loam		
HsS	hiesusavi/silty clay	rm	runsasmultainen/ SOM content 6-11,9 %
LjS	liejusavi/clay with high SOM		
s	savinen/clayey		

Taulukko 3. Perusmuokkausmenetelmät vuosina 2000-02 eri lohkoilla. Kultiv. = kultivointi, - = ei muokkausta.

Table 3. Primary tillage methods used in different fields in 2000-02. Tillage methods: kyntö = mouldboard ploughing, kultiv. = stubble cultivation, - = no tillage. Treatments as described in Table 2.

Tila nro Farm number	Muokkaustapa 2000 Tillage method 2000			Muokkaustapa 2001 Tillage method 2001			Muokkaustapa 2002 Tillage method 2002		
	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass
1	kultiv.	kultiv.	-	kyntö	kultiv.	-	kyntö	kultiv.	-
2	- ^a	kultiv.	-	-	-	-	- ^a	-	- ^a
3	kyntö ^b	kultiv.	kyntö	kyntö	kultiv.	-	kyntö	kyntö ^c	-
4	kultiv.	kultiv.	-	kyntö	-	-	kyntö	-	-
5	kyntö	kultiv.	-	kyntö	kultiv.	-	kyntö	kultiv.	-
6	kyntö	kultiv.	- ^a	kyntö ^d	kultiv.	- ^a	kyntö ^d	kultiv. ^d	- ^a
7	kyntö	kyntö	-	kyntö	kultiv.	-	kyntö	kultiv.	-
8	kyntö	kultiv.	-	kyntö	kultiv.	-	kyntö	kultiv.	kyntö
9	kyntö	kultiv.	kultiv.	kyntö/- ^e	kultiv.	kyntö	- ^b / - ^e	kultiv.	kultiv. ^c
10	kyntö	kultiv.	kyntö	kyntö	kultiv.	-	kyntö	kultiv.	-
11	kyntö	kyntö	-	kyntö	kultiv.	-	kultiv.	kultiv.	-
12	kyntö	kultiv.	-	kyntö	kultiv. ^b	-	kultiv. ^a	kultiv. ^c	-
13	kultiv.	kultiv.	-	-	-	- ^a	kultiv.	kultiv.	-

^a olki/pahna korjattu pois/the straw was collected and taken away

^b kylvetty syysviljalle/seeded for winter wheat/rye

^c kalkitus/liming

^d muokkaus keväällä/tillage in spring

^e osa lohkoista avokesantona/the plot was partly as bare fallow

Havainnot pintaveden esiintymisestä

Märkyysongelmista kärsivien alueiden sijainti ja pinta-ala määritettiin satelliittipaikannuslaitteella, jonka tarkkuus oli korjausta käytettäessä 0,5 - 1 m. Kevään 2003 havainnoista osa kerättiin poikkeuksellisesti käsi-GPS:llä, jonka tarkkuus on noin 5-10 m, koska aiemmin käytetty laite oli rikki. Alueet luokiteltiin kolmeen ryhmään märkyysongelman vakavuuden mukaan: lätäkkö, painannevesi ja märkyys. Havaintohetkellä kokonaan veden peitossa olleet alueet luokiteltiin lätäköiksi, ja osittain veden peittämät alueet painannevedeksi. Luokkaan märkyys kuuluvat alueet olivat veden kyllästämiä, mutta vettä ei ollut maan pinnalla. Vastaavalla tavalla kartoitettiin kuorettumat, liettyneet kohdat, harvat ja kellastuneet kasvustot jne., joista voitiin päätellä alueella olleen märkyysongelmia havaintohetkeä edeltävänä aikana. Tulvaveden, lähteiden ja lohkon ulkopuolelta valuvan veden vaikutus tuloksiin pyrittiin eliminoimaan havainnoita tehtäessä. Salaojien laskuaukkojen toiminta havainnoitiin vuodesta 2002 alkaen.

Pintaveden esiintyminen kartoitettiin vuonna 2001 kaikilta tiloilta keväällä huhti-toukokuussa lumen sulamisen jälkeen ennen kevätmuokkausta ja kylvöä. Kaikki lohkot kartoitettiin myös syyskuussa, jolloin suurin osa lohkoista oli puitu, mutta syysmuokkaus yleensä vielä tekemättä. Lisäksi lohkot tiloilla 5, 6, 8, 9 ja 10 kartoitettiin kesä-heinäkuussa runsaiden sateiden jälkeen, sekä tiloilla 1-4, 7 ja 11-13 marraskuussa. Vuonna 2002 lohkohavainnot tehtiin huhtikuussa ja heinäkuussa. Loppukesä ja syksy olivat kuivia, eikä havainnoita tehty. Keväällä lohkoilta otettiin maa- ja pintavesinäytteitä MYTVAS2-hanketta 'Käyttökelpoisen fosforin arviointi pintamaasta ja valumavedestä' varten (Uusitalo ym. julkaisematon aineisto). Vuonna 2003 lohkohavainnot tehtiin kaikilta tiloilta huhti-toukokuussa sekä marras-joulukuussa. Tiloja 7 ja 10 lukuunottamatta lohkot kartoitettiin myös kesä-heinäkuussa.

Lohkoilta kerättyä dataa käsiteltiin tietokoneella paikkatieto-ohjelmilla (Pathfinder 2.70, ArcView). Eri märkyysluokille laskettiin peittävyys prosentteina lohkon pinta-alasta havaintokerroittain. Lisäksi huhti-toukokuun, syyskuun ja marraskuun 2001, sekä huhtikuun 2002 tuloksista tarkasteltiin, toistuivatko ongelmat samoissa kohdissa eri havaintokerroilla. Märkyysongelma katsottiin toistuvaksi, jos eri havaintokerroilla havaitut lätäkkö-, painannevesi- tai märkyysalueet olivat samassa kohdassa edes osittain. Toistuville märkyysongelmille laskettiin keskimääräinen peittävyys prosentteina lohkon pinta-alasta. Marraskuussa 2001 havainnoita oli 8 tilalta. Tila 8 jätettiin pois toistuvuustarkastelusta kokeen alussa puuttuneen heinälohkon sekä huhtikuun 2002 puuttuvien tietojen takia. Tilastolliseen testaukseen käytettiin Friedmanin tyyppistä testiä (Berry 1997), joka sopi epänormaalisti jakautuneiden aineistojen analysointiin. Testauksessa aineiston simuloitu koko oli 100 000 ja käsittelyjä verrattiin pareittain.

Taulukko 4. Lohkojen kasvipeite kasvukausilla 2001-03.

Table 4. The crop cover of the fields in 2001-03. The definitions: kaura = oats, ohra = spring barley, vehnä = wheat, ruis = winter rye, rypsi = rape, pellava = flax, nurmi = grass, kesanto = bare fallow. Treatments as described in Table 2.

Tila nro Farm number	Kasvipeite 2001 Crop cover 2001			Kasvipeite 2002 Crop cover 2002			Kasvipeite 2003 Crop cover 2003		
	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass
1	kaura	vehnä	nurmi ^a	vehnä	kaura	nurmi ^a	kaura	vehnä	nurmi ^a
2	nurmi ^b	ohra	nurmi ^b	kaura	pellava	kaura	pellava	pellava	pellava
3	vehnä	vehnä	ohra+ nurmi	rypsi	ohra ^e	nurmi ^a	vehnä+ nurmi	vehnä	nurmi ^a
4	kaura	kaura	nurmi ^a	rypsi	rypsi	nurmi ^a	kaura	kaura	nurmi ^a
5	ohra	ohra	nurmi ^a	rypsi	rypsi	nurmi ^a	ohra	ohra	nurmi ^a
6	ohra	ohra	nurmi ^b	ohra	ohra	nurmi ^b	kaura	ohra	nurmi ^b
7	ohra	kaura	nurmi ^d	vehnä	vehnä	nurmi ^a	ohra	ohra	nurmi ^a
8	ohra	rypsi	nurmi ^{c+d}	vehnä	vehnä	nurmi ^{c+d}	vehnä	vehnä	rypsi
9	ohra	kaura	kesanto	ohra/ kesanto	vehnä	ohra	vehnä/ kesanto ^e	ohra	vehnä
10	vehnä	vehnä	ohra+ nurmi	vehnä	vehnä	nurmi ^a	vehnä	vehnä	nurmi ^a
11	vehnä	vehnä	nurmi ^a	rypsi	rypsi	nurmi ^a	vehnä	vehnä	nurmi ^c
12	ohra	ohra	nurmi ^a	ohra	ruis ^e	nurmi ^a	rypsi	rypsi	nurmi ^a
13	vehnä	vehnä	nurmi ^b	ohra	ohra	nurmi ^b	vehnä	vehnä	nurmi ^b

^a

kesantonurmi/green fallow

^c

kuivaheinänurmi/dry hay

^b

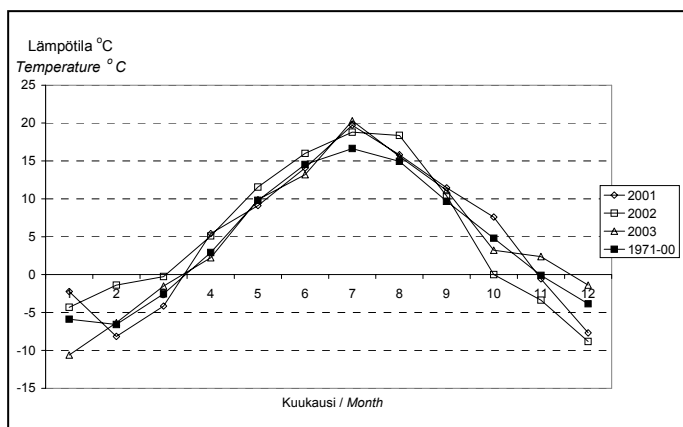
siemenviljelynurmi/grass for seed production

^d

säilörehunurmi/grass for silage

^e

salaajituksen täydennys/subsurface drainage improvement

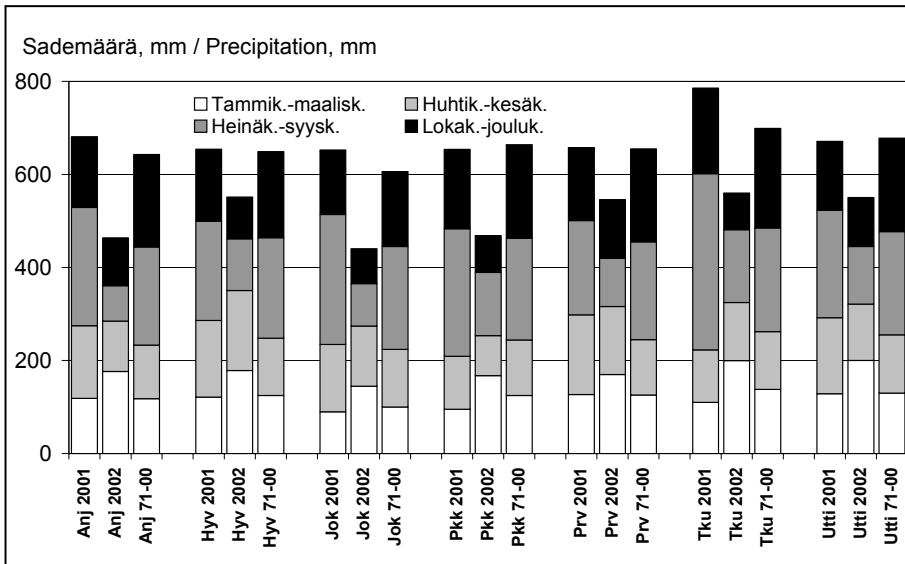


Kuva 4. Kuukauden keskilämpötilat Anjalan, Hyvinkään, Jokioisten, Piikkiön, Porvoon, Turun ja Utin sääasemien keskiarvoina vuosina 2001–2003 ja 1971-2000 (Lähde: Ilmatieteen laitos).

Figure 4. Mean monthly temperatures in average of Anjala, Hyvinkää, Jokioinen, Piikkiö, Porvoo, Turku and Utti meteorological stations in 2001–2003 and 1971-2000 (Source: Finnish Meteorological Institute).

Sääolot seurantajakson aikana

Kuukauden keskilämpötila ja sademäärä lähinnä lohkoja olleilla sääasemilla vuosilta 2001-03 esitetään Kuvissa 4 ja 5. Kuvassa 6 esitetään pohjaveden pinnan korkeuden vaihtelu lähinnä lohkoja olleilla Suomen ympäristökeskuk- sen seuranta-aseilla. Vuosina 2001-02 huhtikuu oli 1,8-3,4 astetta keski- määräistä lämpimämpi (Kuva 4). Vuonna 2002 huhtikuussa satoi selvästi keskimääräistä vähemmän. Molempina vuosina useilla seurantapaikoilla satoi kesä-heinäkuussa rajuja kuuroja (Kuva 5) ja heinäkuu oli selvästi keskimää- räistä lämpimämpi (Kuva 4). Syyskuussa 2001 satoi 13-95 mm enemmän kuin keskimäärin, mutta syksyllä 2002 satoi erittäin vähän (Kuva 5), mikä laski pohjaveden pintaa merkittävästi (Kuva 6). Tammikuu 2003 oli tavan- omaista 4,5-4,9 astetta kylmempi, heinäkuu 3,5-3,9 astetta lämpimämpi. Al- kuvuoden 2003 sademäärä oli keskimääräistä vähäisempi, sen sijaan touko- kuussa satoi hieman keskimääräistä enemmän. Loppuvuoden sademäärä oli lähellä pitkäaikaista keskiarvoa. Pohjavedet pysyivät normaalia alemmalla tasolla vuoden 2003 lopulle asti.



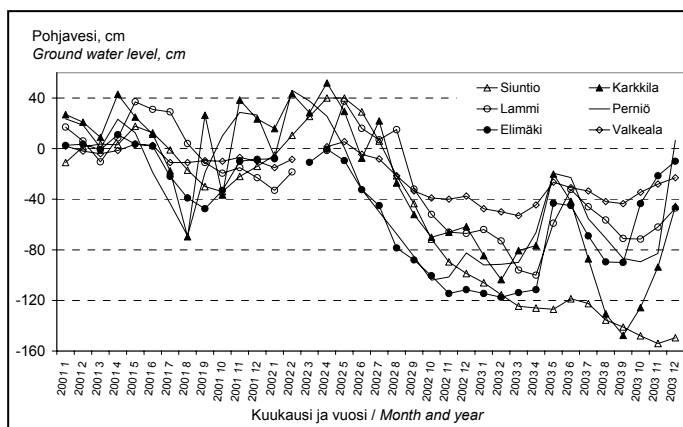
Kuva 5. Kuukausittaiset sademäärät eri sääasemilla vuosina 2001 ja 2002 sekä keskimäärin 1971-2000. Asemien lyhenteet: Anj=Anjala, Hyv=Hyvinkää, Jok=Jokioinen, Pkk=Piikkiö, Prv=Porvoo, Tku=Turku (Lähde: Ilmatieteen laitos).

Figure 5. Monthly precipitation in different meteorological stations in 2001, 2002 and 1971-2000. Abbreviations used: Anj=Anjala, Hyv=Hyvinkää, Jok=Jokioinen, Pkk=Piikkiö, Prv=Porvoo, Tku=Turku (Source: Finnish Meteorological Institute).

Tulokset ja tulosten tarkastelu

GPS-paikannus osoittautui käyttökelpoiseksi menetelmäksi määrittää pintaveden esiintymistä lohkoilta toistuvasti. Lisäksi voidaan tarkastella pintaveden esiintymistä lohkon eri osissa ajan suhteen. Suurin hankaluus mittaustavassa oli se, että kasvukauden aikana, varsinkin heinälohkoilla kasvusto haittasi havaintojen tekoa. Lisäinformaatiota kasvukauden aikaisesta tilanteesta olisi todennäköisesti saatu ilmakuviavien avulla.

Vuosi 2001 oli hankkeen osalta siirtymävuosi, sillä osa lohkoista muokattiin vasta ko. vuonna hankkeen edellyttämällä tavalla (Taulukko 3). Vuosi 2002 oli hankkeen kannalta huono, koska pintavettä oli vähän. Huhtikuu oli kuiva, samoin syysy. Vuonna 2003 märkyysongelmia esiintyi vähän, mikä oli ilmeisesti seurausta vuoden 2002 kuivuudesta (Kuvat 4 ja 5). Kuivan jakson jälkeen maat imivät vettä hyvin ja kuivuminen oli todennäköisesti halkeiluttanut niitä.



Kuva 6. Pohjaveden korkeuden vaihtelu lähinnä koepaikkoja olleilla seuranta-
 asemilla vuosina 2001-2003, kuukausikeskiarvon poikkeama pitkäaikaisesta
 keskiarvosta (Lähde: Suomen ympäristökeskus).

Figure 6. The variation of ground water level in 2001-2003, the difference
 between monthly and long term average values (Source: The Finnish
 Environment Institute).

Lätäköiden ja painanneveden esiintyminen havaintokerroittain esitetään Taulukoissa 5-7, sekä harvojen tai kellastuneiden kasvustojen peittämät alat keuhalla 2001 ja 2003 Taulukossa 8. Keskimäärin tarkasteltuna lätäköiden ja painanneveden peittämää aluetta oli eniten sänkimuokattavilla lohkoilla. Niillä kaikkien havaintokertojen pinta-alalla painotettu keskiarvo oli 0,48 % lohkoalasta. Kynnettävillä lohkoilla se oli 0,20 % ja heinälohkoilla 0,27 %. Jos huomioidaan myös lievimmät ongelmat, keskiarvot olivat vastaavasti 0,58 %, 0,35 % ja 0,36 %. Tilan 2 poistaminen tuloksista ei vaikuttanut keskiarvoihin merkittävästi. Eri havaintokerroilla käsittelyjen järjestys vaihteli (Taulukot 5 ja 6). Havaintokerroittain testattuna tilastollisesti merkitseviä eroja käsittelyjen välillä ei havaittu (Taulukko 7). Kullakin havaintokerralla vain osalla lohkoista esiintyi märkyysongelmia, jolloin yhden lohkon vaikutus havaintokerran tuloksiin korostui. Keväällä 2001 lätäköiden ja painanneveden yhteenlaskettu peittävyys oli suurin kynnettävillä lohkoilla (Taulukko 5). Vakavia märkyysongelmia eli lätäköitä oli eniten kynnettävillä ja vähiten heinälohkoilla. Lieviä ongelmia eli märkyyttä puolestaan oli eniten heinälohkoilla, vähiten kynnetyillä. Kevään 2001 tuloksissa oli tilalla 11 märkyysongelmien vaivaama osuus lohkoista huomattavan korkea sekä kynnettävällä että sänkimuokattavalla lohkolle (Taulukko 5). Myös ero kynnettävän ja sänkimuokattavan välillä oli suuri, mikä ei kuitenkaan ollut seurausta muokkausmenetelmästä. Tuolloin

Taulukko 5. Lätäköiden ja painanneveden peittämän alan osuus yhteensä (% lohkon pinta-alasta) huhti-toukokuun, syyskuun ja marraskuun 2001 havaintokerroilla.

Table 5. Total area covered by surface water and ponding water (% of the field area) in April-May, September and November 2001 in different fields. Treatments as described in Table 2.

Tila nro Farm number	4-5/2001			9/2001			11/2001		
	Kyntö CT	Sänki RT	HeinäG-rass	Kyntö CT	Sänki RT	HeinäG-rass	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass
1	0,0	0,2	0,0	0,0	4,0	0,0	0,3	1,7	0,1
2	2,1	0,0	0,0	0,5	1,1	0,0	0,0	0,1	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,1	0,0	0,0	1,4	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,6	7,5
5	0,1	0,0	0,0	0,1	1,1	0,0	-	-	-
6	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-	-	-
7	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	1,5	1,9	-	0,0	0,0	0,7	-	-	-
9	<0,1	1,3	2,1	0,2	0,3	0,0	-	-	-
10	0,2	1,4	2,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-
11	23,8	9,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,7	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ongelmalohkoja, kpl No of problem fields	8	9	3	3	5	2	1	4	2
Keskiarvo 1 Average 1	0,90	0,76	0,61	0,06	0,52	0,12	0,02	0,62	1,52
Keskiarvo 2 Average 2	2,21	1,36	0,35	0,06	0,50	0,12	0,04	0,59	0,94
Mediaani Median	0,13	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00

Keskiarvo 1= pinta-alalla painotettu keskiarvo

Average 1 = average weighted by the field area

Keskiarvo 2 = tilakohtaisten lukujen keskiarvo

Average 2 = average of the individual results of each farm

- = havainnot ei tehty; - = no observations

Taulukko 6. Lätäköiden ja painanneveden peittämän alan osuus yhteensä (% lohkon pinta-alasta) huhtikuussa 2002, sekä huhti-toukokuussa ja marras-joulukuussa 2003.

Table 6. Total area of surface water and ponding water (% of the field area) in April 2002, in April-May 2003 and in November-December 2003 in different fields. Treatments as in Table 2.

Tila nro Farm number	4/2002			4-5/2003			11-12/2003		
	Kyntö CT	Sänki RT	Hei- näG- rass	Kyntö CT	Sänki RT	Hei- näG- rass	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass
1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	1,8	10,5	0,1	0,0	0,0	0,0
4	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	<0,1	0,0	0,1	0,1
5	0,0	0,0	0,0	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
6	0,0	0,0	<0,1	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	-	-	-	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	-	-	-	0,0	0,0	0,1
11	3,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ongelmalohkoja, kpl No of problem fields	2	3	2	3	3	4	1	1	3
Keskiarvo 1 Average 1	0,09	0,14	0,04	0,25	1,54	0,28	0,01	0,00	0,06
Keskiarvo 2 Average 2	0,25	0,38	0,04	0,23	0,93	0,17	0,02	0,01	0,07
Mediaani Median	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Keskiarvo 1= pinta-alalla painotettu keskiarvo
Average 1 = average weighted by the field area
Keskiarvo 2 = tilakohtaisten lukujen keskiarvo
Average 2 = average of the individual results of each farm
- = havaintoja ei tehty; - = no observations

Taulukko 7. Tilastollinen merkitsevyys käsittelyjen välisistä eroista märkyyso Ongelmien esiintymisessä eri havaintokerroilla, Friedmanin tyypisellä testillä (Berry 1997) testatut P-arvot.

Table 7. Pairwise tested P-values between the treatments during different observational periods by using Friedman's test (Berry 1997). Treatments as described in Table 2.

Havaintokerta <i>Observational period</i>	Lätäköet <i>Surface water</i>			Lätäköet ja painannevesi <i>Surface water and ponding water</i>			Lätäköet, painannevesi ja märkyys <i>Surface water, ponding water and wet soil</i>		
	Kyntö /sänki CT/RT	Kyntö /heinä CT/Grass	Sänki /heinä RT/Grass	Kyntö /sänki CT/RT	Kyntö /heinä CT/Grass	Sänki /heinä RT/Grass	Kyntö /sänki CT/RT	Kyntö /heinä CT/Grass	Sänki /heinä RT/Grass
4-5/2001	0,84	0,84	0,44	0,87	0,66	0,30	0,88	0,88	0,54
9/2001	0,22	1,00	0,22	0,22	1,00	0,22	0,22	1,00	0,22
11/2001	0,67	0,67	1,00	0,17	0,98	0,35	0,17	0,98	0,35
4/2002	1,00	1,00	1,00	0,67	0,91	0,91	0,11	1,00	0,11
4-5/2003	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99
11-12/2003	1,00	1,00	1,00	1,00	0,67	0,89	0,98	0,76	0,98

myös tilan sänkimuokattava lohko oli kynöksellä, kultivointi lohkolle aloitettiin vasta syksyllä 2001 (Taulukko 3). Osaltaan tulosta selittää viljelyhistoria. Kynnettävällä lohkolle sijainnutta painannetta on yritetty täyttää maata siirtämällä, mikä on saattanut aiheuttaa rakenneongelmia ao. kohtaan. Kun tarkastellaan havaintokerran 4-5/2001 tuloksia jättämällä tila 11 pois, on lätäköiden ja painanneveden peittämä ala suurin sänkimuokattavilla lohkoilla.

Touko-kesäkuussa 2001 osalla seurantalohkoista satoi runsaasti ja huonosta vedenläpäisevyydestä kieliviä kellastuneita alueita esiintyi useilla lohkoilla kesä-heinäkuussa (Taulukko 8). Syksyllä 2001 ongelmia havaittiin eniten sänkimuokattavilla lohkoilla, vähiten kynetyillä (Taulukko 5). Marraskuun 2001 havainnoissa oli mukana 8 tilaa. Näillä lätäköiden ja painanneveden yhteenlaskettu peittävyys oli keskimäärin suurin heinälohkoilla. Tulos johtuu kuitenkin suurelta osin tilan 4 heinälohkosta, jossa märkyyso Ongelmia oli selvästi enemmän kuin muilla tiloilla.

Keväällä 2002 pintavesiongelmiä oli keskimäärin eniten sänkimuokattavilla ja vähiten heinälohkoilla (Taulukossa 6). Tulosta selittää tilan 11 kultivoitavalla lohkolle syksyllä 2001 liian märissä oloissa tehty kultivointi, joka jätti lohkolle vettä keräävät raiteet. Myöskään keväällä 2002 erot

Taulukko 8. Harvat ja kellastuneet kasvustot % lohkon pinta-alasta heinäkuussa 2001 ja kesä-heinäkuussa 2003.

Table 8. The area of yellow or sparse growth and without vegetation in each field as % of the plot area in July 2001 and in June-July 2003. Treatments as described in Table 2.

Tila nro <i>Farm number</i>	7/2001			6-7/2003		
	Kyntö <i>CT</i>	Sänki <i>RT</i>	Heinä <i>Grass</i>	Kyntö <i>CT</i>	Sänki <i>RT</i>	Heinä <i>Grass</i>
1	-	-	-	0,0	0,0	0,0
2	-	-	-	1,4	3,4	1,3
3	-	-	-	0,0	0,0	0,0
4	-	-	-	0,0	0,0	0,0
5	2,5	4,7	0,0	0,1	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	-	-	-	-	-	-
8	0,0	0,0	-	0,0	0,3	0,0
9	0,0	1,0	0,0	0,0	10,2	0,0
10	1,9	0,0	11,8	-	-	-
11	-	-	-	0,0	0,0	0,0
12	-	-	-	0,0	0,0	0,0
13	-	-	-	0,0	0,0	0,0
Ongelmaloikoja, kpl	2	2	1	2	3	1
<i>No of problem fields</i>						
Keskiarvo 1	1,24	1,46	3,09	0,08	1,99	0,02
<i>Average 1</i>						
Keskiarvo 2	0,88	1,15	2,95	0,14	1,26	0,12
<i>Average 2</i>						
Mediaani	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Median</i>						

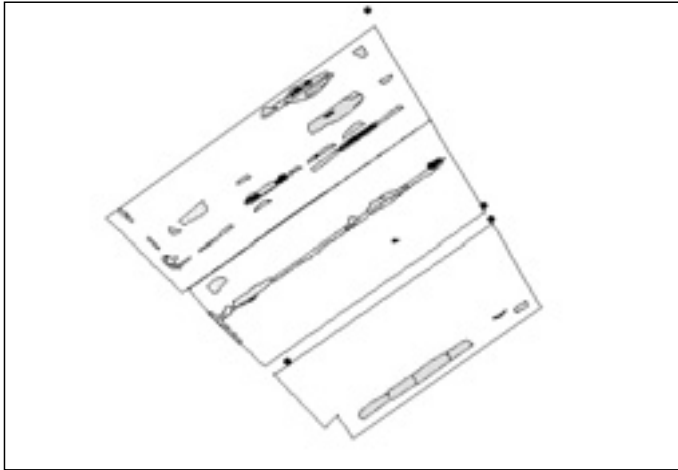
Keskiarvo 1= pinta-alalla painotettu keskiarvo

Average 1 = average weighted by the field area

Keskiarvo 2 = tilakohtaisten lukujen keskiarvo

Average 2 = average of the individual results of each farm

- = havaintoja ei tehty, - = no observations



Kuva 7. Märkyysongelmien esiintyminen tilalla numero 4 vuosina 2001-02. Eri havaintokertojen tulokset on esitetty kuvassa päällekkäin. Kynnettävä lohko sijaitsee kaakkoisreunassa, sänkimuokattava lohko keskellä ja heinälohko luoteisreunassa. Yhtenäisellä värillä merkityt alueet kuvaavat lätäköitä, rasteroidut painanneveettä ja märkyyttä.

Figure 7. The areas where surface water (black), ponding water (dots frequently) and wet soil (dots sparsely) existed during different observational periods in farm no 4 in 2001-02. The location of the treatments: CT = the south-eastern plot, RT = the middle plot, Grass = the north-western plot.

käsittelyjen välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, vaikka otettaisiin huomioon lievimmätkin märkyysongelmat (Taulukko 7, $P=0.11$).

Kesä-heinäkuussa 2002 satoi useilla paikoilla keskimääräistä enemmän (Kuva 5), mutta pintavettä tai kasvuston kellastumista ei havaittu kesän kartoituksessa. Loppuvuodesta 2002 lohkohavaintoja ei tehty, koska maa oli koalueilla kuiva.

Keväällä 2003 eniten märkyysongelmia esiintyi sänkimuokattavilla lohkoilla, marras-joulukuussa heinälohkoilla (Taulukko 6). Keväällä 2003 oli tilan 3 kynnettävällä loholla kaikkien märkyysongelmien (lätäköet, painannevesi, märkyys) kokonaispeittävyys samaa luokkaa kuin sänkimuokattavalla lohkolle, joka myös oli kynnoksellä (Taulukko 3), mutta kynnettävällä loholla ongelmat olivat lievempiä (tuloksia ei esitetty). Havainnot ko. tilalta tehtiin aikaisin keväällä ajankohtana, jolloin maa oli vielä roudassa syvemmältä ja pintavaluntaa esiintyi. Osasta salaojia ei tullut tuolloin valuntaa lainkaan.

Taulukko 9. Samoissa kohdissa toistuvasti esiintyneiden märkyysongelmien keskimääräinen peittävyys % lohkon pinta-alasta. Tuloksissa ovat mukana 4-5/2001, 9/2001 ja 11/2001, sekä 4/2002 havaintokerrat. Tilan 8 tuloksia ei käytetty puuttuvien havaintojen takia.

Table 9. Coverage (at the average of different observational periods, % of the field area) of surface water and ponding water areas and surface water, ponding water and wet soil areas that existed repeatedly at the same positions during different observational periods 2001-02. Farm number 8 was discarded because of missing data. Treatments as described in Table 2.

Tila nro Farm number	Lätäköet ja painannevesi Surface water and ponding water			Lätäköet, painannevesi ja märkyys Surface water, ponding water and wet soil		
	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass	Kyntö CT	Sänki RT	Heinä Grass
1	0,0	1,6	0,0	0,0	2,0	0,0
2	1,0	0,2	0,0	1,3	0,2	0,0
3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
4	0,0	0,0	1,9	0,0	0,6	4,3
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8						
9	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	4,9	4,5	0,0	4,9	4,5	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Ongelmalohkoja, kpl No of problem fields	2	5	1	2	8	1
Keskiarvo1 Average 1	0,17	0,32	0,16	0,18	0,48	0,37
Keskiarvo2 Average 2	0,49	0,57	0,16	0,51	0,74	0,36

Keskiarvo 1= pinta-alalla painotettu keskiarvo

Average 1 = average weighted by the field area

Keskiarvo 2 = tilakohtaisten lukujen keskiarvo

Average 2 = average of the individual results of each farm

- = havaintoja ei tehty, - = no observations

Taulukko 10. Tilastollinen merkitsevyys käsittelyjen välisistä eroista märkyysongelmen toistuvuudessa samoissa kohdissa, Friedmanin tyyppisellä testillä (Berry 1997) testatut P-arvot. Tulokset on esitetty taulukossa 9.

Table 10. Pairwise tested P-values between the treatments by using Friedman's test (Berry 1997). The difference between the treatments of coverage % (Table 9) of problem areas existing repeatedly at the same positions during different observational periods 2001-02. Treatments as described in Table 2.

Märkyysluokat <i>The problem classes included</i>	Kyntö/Sänki <i>CT/RT</i>	Kyntö/Heinä <i>CT/Grass</i>	Sänki/Heinä <i>RT/Grass</i>
Lätäköet ja painannevesi <i>Surface water and ponding water</i>	0,78	0,78	0,28
Lätäköet, painannevesi ja märkyys <i>Surface water, ponding water and wet soil</i>	0,22	0,89	0,06

On mahdollista, että myös osa salaojista oli jäässä tavallista syvemmälle ulotuneen roudan takia. Tästä taas voi olla seurauksena lohkon ulkopuolelta valuvan veden näkyminen tuloksissa.

Kahden sänkimuokkauslohkon (tilat 3 ja 12) salaojitusta uusittiin vuonna 2002. Samoin kyntölohkon 9 salaojitusta täydennettiin vuonna 2003. Kaikilla näistä lohkoista on esiintynyt ennen ojitusta viljelyä haittaavia märkyysongelmia, ei kuitenkaan merkittävästi muita lohkoja enempää (Taulukot 5-8).

Muutamalla lohkoista syysmuokkausmenetelmä on joinakin vuosina ollut tutkimuksen kannalta väärä (Taulukko 3). Eniten tällaisia lohkoja löytyy kynnnettävistä lohkoista. Tällä ei kuitenkaan ollut vaikutusta käsittelyjen väliseen järjestykseen vuosina 2001-02 havaintokerroittain tarkasteltuna (Taulukot 5-8), kun keskiarvot laskettiin ilman kyseisiä lohkoja. Joissakin tapauksissa on ollut ongelmia luotettavien havaintojen saamisessa lohkolle olleen kasvuston takia, myöskään näiden lohkojen poistamisella ei ollut vaikutusta käsittelyjen väliseen järjestykseen.

Kellastuneen ja harvan kasvuston (Taulukko 8) lohkoalalla painotettu peittävyys oli vuosien 2001-03 aikana kynnnettävillä lohkoilla keskimäärin 0,10 %, sänkimuokattavilla 0,40 % ja heinälohkoilla 0,24 %. Luku kuvaa lähinnä kasvukauden aikaista tilannetta lohkoilla, lisäksi tähän luokkaan kuuluvia alueita voi esiintyä syysvilja- ja heinälohkoilla marras-joulukuun sekä kevään havaintokerroilla. Tulokset havaintokerroilta 7/2001 ja 6-7/2003 esitetään Taulukossa 8. Tilan 10 heinälohkon (7/2001) ja tilan 9 sänkimuokattavan lohkon (6-7/2003) korkeat arvot indikoivat salaojituksen huonoa toimintaa ja mahdollisia rakenneongelmia tietyissä lohkon osissa. Tilan 10 osalta heinäkuun 2001 tulokseen vaikuttanee myös se, että kyseisellä lohkolle kasvoi nurmen suojaviljana ohraa (Taulukko 4), joka kellastuu liian veden vaikutuksesta herkemmin kuin kynnnettävällä ja sänkimuokattavalla lohkolle kasvanut

vehnä. Tilan 9 sänkimuokattavalla lohkoilla oli kuorettumistaipumusta ja lohkon ongelmia voi pahentaa lohkon ulkopuolelta valuva vesi. Kesällä 2003 tilan 2 kaikilla lohkoilla oli kellastuneita alueita viljeltäessä pellavaa (Taulukko 8). Lohkot olivat suorakylvössä.

Joillakin lohkoilla lätäköitä tai painanneveettä esiintyi toistuvasti samoissa kohdissa (Kuva 7), eniten sänkimuokattavilla lohkoilla (Taulukot 9-10). Kun otetaan huomioon myös lievimmät ongelmat, sänkimuokattavien ja heinälohkojen ero oli lähes merkitsevä ($P=0,06$, Taulukko 10). Testattaessa tulokset ilman tilaa 2, P-arvo oli 0,08 sekä kynnettävien ja sänkimuokattavien, että sänkimuokattavien ja heinälohkojen välillä. Toistuva pintaveden esiintymisen johtui todennäköisesti maan rakenneongelmista, mutta myös viljelyhistoria vaikutti niiden esiintymiseen. Esimerkiksi vanhat kynnön lopetusvakojen paikat keräsivät pintavettä.

Yleinen tulosten tarkastelu

Tarkasteltaessa koko aineistoa (2001-03), eniten märkyysongelmia sekä niistä aiheutuvia harvoja ja kellastuneita kasvustoja esiintyi sänkimuokattavilla lohkoilla. Keskimäärin märkyysongelmien osuus lohkon pinta-alasta oli kuitenkin kaikissa koejäsenissä pieni, alle yksi prosentti. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei havaittu käsittelyjen välillä havaintokerroittain testattuna. Yksittäiset tulokset vaikuttavat huomattavasti havaintokerroittain esitettyihin keskiarvoihin, koska ongelmia esiintyi yleensä vain osalla tiloista kutakin havaintokertaa kohti.

Aineisto saattaa yliarvioida sänkimuokattavilla lohkoilla esiintyviä märkyysongelmia suhteessa muihin käsittelyihin. Vaikka lohkot yritettiin valita siten, että niiden pinnanmuodot olivat samanlaiset, osa sänkimuokatuista lohkoista oli hieman tasaisempia kuin muut koejäsenet. Ero pellon kaltevuudessa oli kuitenkin pieni (korkeintaan 0,2 %). Lisäksi lohkoja 1, 7, 8, 11 ja 12 oli sänkimuokattu alle viisi vuotta hankkeen alkaessa. Siirryttäessä kynnöstä kevennettyyn muokkaukseen siirtymäaika, jonka aikana mm. maan rakenne sopeutuu uuteen järjestelmään, on noin viisi vuotta (mm. Alakukku 2002). Tavoitteena on, että ajan myötä savimaahan muodostuu lierokäytävistä, juurikanavista ja mikrohalkeamista jatkuva makrohuokosto, joka korvaa mekaanisesti muokkaamalla tehdyn rakenteen. Samalla pellon sateiden kestävyys paranee.

Onnistuneen kyntämättä viljelyyn tai suorakylvöön siirtymisen edellytys on, että lohkon maan rakenne ja ojitus ovat kunnossa. Ehdot eivät täytyneet kaikilla lohkoilla. Seurantajaksolla havaittuja yleisimpiä märkyysongelmia aiheuttavia tekijöitä olivat:

- Vesi ei pääse salaojista ulos joko avo-ojien tukkoisuuden tai puisten salaojan ulostulojen lahoamisen ja sortumisen takia, mikä pitää maan liian märkänä ja voi johtaa maan rakenneongelmiin ja pintaveden esiintymiseen pellolla.
- Pellon pinnan muotoilu on 'vettä keräävä', mikä useassa tapauksessa on seurausta siitä, että lohkoa on aikaisemmin kynnety. Sänkimuokattavilla ja heinälohkoilla on edelleen näkyvissä vanhoja kynnön lopetusvakoja, jotka keräävät vettä. Nämä kohdat puolestaan ovat erityisen alttiita rakenneongelmien muodostumiselle. Pellon pinnan muotoiluun tulee kiinnittää huomiota. Tähän voidaan vaikuttaa esimerkiksi kynnön päistevakojen sekä aloitus- ja lopetuskohtien sijainnilla.

Tämän seurantahankkeen tulosten perusteella pintavaluntariski sänkimuokattavilta lohkoilta oli suurempi kuin kynnetyltä tai nurmilohkolta. Tulokset ovat samansuuntaisia kuin huuhtoutumiskentiltä saadut tulokset verrattaessa kyntöä ja sänkimuokkausta. Vaikka sänkimuokattavilta lohkoilta tulee enemmän pintavaluntaa, eroosion ja ravinnekuormituksen osalta asia ei ole yksiselitteinen. Kaltevalla (7-8 %) hiuesavimaalla tehdyssä tutkimuksessa (Puustinen 1999) oli matalaan (8-10 cm) sänkimuokatulla lohkolta pintavaluntaa keskimäärin 22 % enemmän kuin rinteeseen suunnassa kynnetyllä lohkolta. Kun maata sänkimuokattiin matalaan voimakkaasti, ero oli 62 %. Ilmeisesti matalassa sänkimuokkauksessa maan pinnalle jäi hienojakoista maainesta, joka liettyi tukkien pintamaan huokoset vettä läpäisemättömiksi. Kyntösuunta ohjasi valuntaa voimakkaasti. Pintavalunta korkeuskäyrien suunnassa kynnetyiltä lohkoilta oli noin puolet rinteeseen suunnassa kynnetyyn verrattuna. Ilmeisesti suurempi osa valumavedestä ohjautui salaojiin. Tulokset ovat siirtymävaiheesta välittömästi kevennetyn muokkauksen aloittamisen jälkeen.

Turtolan ja Lemolan (2000) tutkimuksessa oli pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta loivasti viettävällä (2 %) savimaalla suurempi sängessä ja matalaan (8 cm) kultivoidussa kuin kynnetyssä koejäsenessä. Kultivointi aloitettiin 3 vuotta kestäneen sänkeen kylvön jälkeen. Kynnetyssä pintavalunnan osuus vaihteli 7-32 %, sängessä 33-46 % ja kultivoidussa 36-57 %. Sängestä huuhtoutui fosfaattifosforia pinta- ja salaojavalunnassa yhteensä 16-24 % enemmän kuin kynnetyistä, mutta typpeä 35-37 % vähemmän. Partikkelifosforin kokonaishuuhtouma oli suunnilleen sama molemmissa. Eroosiota sänki vähensi kyntöön verrattuna 14-31 %. Kultivointi sen sijaan lisäsi eroosiota kahtena ensimmäisenä koevuotena 7-13 %, mutta vähensi kolmantena koevuotena 36 %. Suurin osa eroosioaineksesta ja partikkelifosforista kulkeutui salaojavalunnan mukana. Turtola ym. (2003) raportoivat samalta huuhtoutumiskentältä sänkimuokkaustuloksia. Heidän mukaansa 4 vuotta kultivoidussa maassa pintavalunnan typpikuormitus oli kaksinkertainen, liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) kolminkertainen ja partikkelifosforin lähes nelinkertainen kyntöön verrattuna. Kokonaisvalunnassa typpeä huuhtoutui kultivoidusta

42 % vähemmän, mutta DRP:a 23 % ja partikkelifosforia 12 % enemmän kuin kynnetyistä.

Koskiahon ym. (2002) mukaan kokonaiseroosio siirtymävaiheen jälkeen oli hiuesavimaalla (kaltevuus 3,7-5,7 %, P 2-8 mg l⁻¹) tehdyssä tutkimuksessa matalaan (5 cm) lapiorullaäestetyltä ruudulta alle puolet kynnetyin kokonaiseroosiosta. Pintavaluntatuloksia oli käytettävissä kahdelta normaalia kuivemalta vuodelta. Niiden mukaan pintavalunnan mukana erodoituvan maan aineksen määrän matala muokkaus vähensi noin kolmasosaan. Kokonaisfosforin huuhtoutumisissa ei havaittu eroja, mutta lapiorullaäestetyin lohkon pintavalunnassa oli leville suoraan käyttökelpoisen liuenneen reaktiivisen fosforin huuhtoutuma nelinkertainen kynnetyyn verrattuna. Typen huuhtoutuma salajavalunnassa matalaan muokatulta lohkolta oli kaksi kolmasosaa kynnetyin vastaavasta.

Pitkänen ja Nuutinen (1998) tutkivat muokkauksen ja pintavalunnan yhteyttä sadesimulointikokeessa hiesuisella hieuemaalla (savesta 29 %) 15 koevuoden jälkeen. Koejäsenet olivat kevät- ja syysänkimuokkaus (5-10 cm) ja syyskyntö (23 cm). Kevätsänkimuokatusta maasta pintavalunta oli merkitsevästi vähäisempää kuin syysmuokatusta koejäsenistä. Kyllästetyn maan vedenjohdavuus 0-50 cm:ssa oli kevätsänkimuokatusta maassa muita merkitsevästi parempi (56 vs 18 (syysänkimuokkaus) tai 9 (kyntö) cm h⁻¹).

Pitkäsen (1997) mukaan sadesimulaatiotulokset osoittivat, että pintavalunnan synty riippui oleellisesti maan makrohuokosten tilavuudesta ja jatkuvuudesta. Muokkaamattomuus voi lisätä ajan myötä huokoston jatkuvuutta siksi, että muokkaus ei enää katko huokosia. Pitkäsen (1997) mukaan kevätsänkimuokatusta (5 cm) hiuesavimaassa oli enemmän jatkuvia makrohuokosia 0-30 cm:ssa kuin syysmuokatusta maassa (kyntö tai kultivointi). Myös muissa tutkimuksissa on todettu muokkauksen keventämisen parantavan huokosten jatkuvuutta etenkin jankon yläosassa (Comia ym. 1994, Pitkänen & Nuutinen 1998, Schjønning & Rasmussen 2000). Huokosten jatkuvuus voi edesauttaa myös juurten kasvua. Aura (1999) ja Alakukku ym. (2001) havaitsivat, että juuret kasvoivat sänkimuokatusta savimaassa nopeammin syvälle kuin kynnetyssä maassa. Tämä parantaa kasvuston poudankestävyyttä kuivina kasvukausina. Jatkuvat makrohuokokset voivat olla myös haitallisia, jos niiden kautta kulkeutuu pohjaveteen tai vesistöihin haitallisia aineita suoraan maan pinnasta oikovirtauksena. Nuutinen ja Butt (2003) totesivat, että kastelieron käytävät voivat olla suorassa yhteydessä salaojan kanssa.

Kirjallisuus

- Alakukku, L. 2000. Erityyppisten makrohuokosten synty ja merkitys peltoviljelyssä. Teoksessa: Salo, R. (toim.). Maatalouden tutkimus- ja tuotantopäivät. 20-vuotisjuhlaseminaari Jokioinen, 26.-27.7.2000. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 79. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. s. 20-30.
- Alakukku, L. 2002. Maan rakenteen ylläpito peltoviljelyssä. Teoksessa: Alakukku, L. & Teräväinen, H. (toim.). Maan rakenteen hoito. Tieto tuottamaan 98. Helsinki: ProAgria.s. 63-81.
- Alakukku, L., Heinonen, M., Aura, E., Esala, M., Nuutinen, V. & Salo, T. 2001. Maan tiivistymisen ehkäisy kyntämättä viljelyssä kevyttä miehittämätöntä traktoria käyttäen. Loppuraportti tutkimuksesta 'Pohjamaan tiivistymisen ehkäisy ja maatalouden ympäristöhaittojen vähentäminen kevyttä Modulaire-tekniikkaa käytettäessä'. Jokioinen: MTT (Maa- ja elintarviketieteiden tutkimuskeskus), Maaperä ja ympäristö, 42 s.
- Aura, E. 1999. Effects of shallow tillage on physical properties of clay soil and growth of spring cereals in dry and moist summers in southern Finland. *Soil & Tillage Research* 50: 169 –176.
- Berry, J.J. 1997. The simulation approach to analyzing the nonparametric randomized complete block design. *Observations: The Technical Journal for SAS Software Users* 6 (2): 36-45.
- Comia, R.A., Stenberg, M., Nelson, P., Rydberg, T. & Håkansson, I. 1994. Soil and crop responses to different tillage systems. *Soil & Tillage Research* 29: 335-355.
- Dexter, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research* 11: 199-238.
- Dexter, A.R. 1997. Physical properties of tilled soils. *Soil & Tillage Research* 43: 41-63.
- Koskiahho, J., Kivisaari, S., Vermeulen, S., Kauppila, R., Kallio, K. & Puustinen, M. 2002. Reduced tillage: Influence on erosion and nutrient losses in a clayey field in southern Finland. *Agricultural and Food Science in Finland* 11: 37-50.
- Maatalouden ympäristötuen seurantaryhmän väliraportti. 2003. Työryhmämuistio MMM 2003:7. Helsinki: MMM. 31 s.
- Myyrä, S. & Pietola, K. 2004. Ohran taloudellinen fosforilannoitus vuokrapelolla. Teoksessa: Happonen, A. & Rinne, M. (toim.), Maataloustieteen Päivät 2004. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no. 19. Helsinki:

- ki: Maataloustieteellinen Seura. (Verkkojulkaisu.) Päivitetty: 5.1.2004. Saatavissa internetistä: <http://www.agronet.fi/maataloustieteellinenseura/>
- Palva, R., Rankinen, K., Granlund, K., Grönroos, J., Nikander, A. & Rekolainen, S. Maatalouden ympäristötuen toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 1995-1999. Suomen ympäristö 478. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. 83 s.
- Pitkänen, J. 1997. Water movement through ploughed and shallow tilled soil blocks. Proceedings 14th ISTRO Conference July 27-August 1, 1997, Pulawy Poland. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 2B/97: 535-538.
- Pitkänen, J. & Nuutinen, V. 1998. Earthworm contribution to infiltration and surface runoff after 15 years of different soil management. Applied Soil Ecology 9: 411-415.
- Puustinen, M. 1999. Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Suomen ympäristö 285. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. 96 s.+12 liitettä.
- Puustinen, M., Merilä, E., Palko, J. & Seuna, P. 1994. Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 198. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki, Kustannuspaikkakunta: kustantaja? 319 s.
- Pyykkönen, S, Grönroos., J, Rankinen, K., Laitinen, P., Karhu, E. & Granlund, K. Ympäristötuen mukaiset viljelytoimenpiteet ja niiden vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 2002-2003. Suomen ympäristö 711.Helsinki. Suomen ympäristökeskus 101 s. + 5 liitettä.
- Nuutinen, V. & Butt, K. 2003. Interaction of Lumbricus terrestris L. burrows with field subdrains. Pedobiology 47: 578-581.sivut?
- Schjønning, P. & Rasmussen, K.J. 2000. Soil strength and soil pore characteristics for direct drilled and ploughed soils. Soil & Tillage Research 57: 69-82.
- Soane, B. & van Ouwerkerk, C. 1995. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. Soil & Tillage Research 35: 5-22.
- Turtola, E. & Lemola, R. 2000. Vesistökuormitus kyntämättä viljelyssä. Loppuraportti tutkimuksesta 'Ympäristötuen kasvipeitteisyysvaatimuksen ympäristövaikutukset syysänkimuokkauksessa, aurattoman viljelyn suorat ravinnepestöt'. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus 22 s. + 14 liitettä. ISBN 951-729-576-6.
- Turtola, E., Uusitalo, R., Lemola, R., Eskelinen, J. & Kaseva, A. 2003. P and N runoff from a heavy clay soil under reduced tillage. Proceedings of NJF's 22nd Congress "Nordic Agriculture in Global Perspective", July 1-4,

2003, Turku, Finland. Päivitetty 15.9.2003. Saatavissa internetistä:
<http://www.njf.dk/njf/reports/njfreports.htm> a ei löydy, tarkista linkki)

Uusitalo, R., Turtola, E., Kauppila, T. & Lilja, T. 2001. Particulate phosphorus and sediment in surface runoff and drainflow from clayey soil. *Journal of Environmental Quality* 30: 589-595.

Ympäristötukiopas 2000. Maatalouden ympäristötuki v. 2000-2006. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 27 s.

Typpitaseen seuranta valtakunnallisesti ja alueellisesti

Tapio Salo¹⁾, Riitta Lemola¹⁾, Katri Rankinen²⁾, Kirsti Granlund²⁾ ja Martti Esala¹⁾

¹⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristöntutkimus, 31600 Jokioinen, tapio.salo@mtt.fi, riitta.lemola@mtt.fi, martti.esala@mtt.fi

²⁾ Suomen ympäristökeskus, Vesistöalueiden integroitu tutkimusohjelma, PL 140, 00251 Helsinki, katri.rankinen@ymparisto.fi, kirsti.granlund@ymparisto.fi

Tiivistelmä

Typpitase kuvaa typen käytön tehokkuutta ja maatalouden intensiteetissä tapahtuneita muutoksia. Ympäristötuen vaikutusten arvioimiseksi laskettiin valtakunnalliset ja maaseutukeskuskohtaiset typpitaseet vuosina 1990-2002. Typpitaseen muutoksen vaikutusta typen kuormituspotentiaaliin ja typen huuhtoutumiseen arvioitiin simulointimallien avulla. Tilakohtaisen typpiylijäämän ympäristökuormitusta arvioitiin COUP-mallilla. Tuloksena saatiin arvio ympäristötuen vaikutuksesta viljelylohkojen typpitaseeseen ja taseen muutosten vaikutuksesta typen huuhtoutumiseen. Simulointimallia testattiin viideltä tuotantosunnaltaan erilaiselta tilalta vuosittain kerättyjen mineraalityppinäytteiden avulla. Lisäksi kehitettiin ICECREAM-malliin perustuvaa laskentajärjestelmää potentiaalisen typpikuormituksen arvioimiseksi maaseutukeskuskohtaisesti. Työtä jatketaan vuoteen 2006 asti.

Valtakunnallinen typpitase on alentunut vuoden 1990 noin 90:sta kg ha-1 noin 50:een kg ha-1. Myös maaseutukohtaiset typpitaseet ovat alentuneet, mutta taseissa on melko suuria alueellisia eroja. COUP-mallin antamat mineraalityypen määrät kalibroitiin syksyllä 2000 mitattuihin mineraalityppimääriin. Lietelannalla lannoitetulta lohkolta mallin arvio vastasi keskimääräistä typen huuhtoutumista. Kolmelta lohkolta huuhtoutui tammi-syyskuussa vähemmän typpeä kuin tutkimusten mukaan keskimäärin, koska kasvusto oli käyttänyt typen tehokkaasti hyväkseen. Kahden lohkon normaalia alhaisemmat satotasot merkitsivät kasvien alhaisempaa typen ottoa ja korkeampaa huuhtoumaa. ICECREAM-mallisysteemiä testattiin Hämeen ja Farman maaseutukeskusten alueilla laskemalla vuosittainen (1990-1999) potentiaalinen nitraattityypen huuhtouma, kun viljelykäytännöt olivat samoja. Ilmasto- ja maalajiominaisuuksilla havaittiin selvä vaikutus huuhtoumaan. Nitraattityypen huuhtoutumisen alueellinen ja vuosittainen vaihtelu oli huomattavaa 90 kg ha-1 vakiolannoituksella kuuden maaseutukeskuksen ilmasto-oloissa. Alenevan lannoituksen käyttö mallissa (110 kg ha-1 => 90 kg ha-1) johti selvään huuhtouman vähenemiseen.

Avainsanat: ympäristö, kuormitus, typpi, tase, lannoitteet, ravinteet, ympäristötuki, huuhtoutuminen, mallintaminen, simulointimallit, seuranta

Monitoring national, regional and farm based nitrogen balance

Tapio Salo¹⁾, Riitta Lemola¹⁾, Katri Rankinen²⁾, Kirsti Granlund²⁾ and Martti Esala¹⁾

¹⁾ MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research FIN-31600 Jokioinen, Finland, tapio.salo@mtt.fi, riitta.lemola@mtt.fi, martti.esala@mtt.fi

²⁾ Finnish Environmental Institute, PL 140, FIN-00251 Helsinki, Finland, katri.rankinen@ymparisto.fi, kirsti.granlund@ymparisto.fi

Abstract

The objective of this project is to calculate national and regional nitrogen (N) balances and study the effect of nitrogen balance on nitrogen leaching using dynamic simulation models. National nitrogen balance has decreased from 90 kg ha⁻¹ in 1990 during the environmental programme of 1995-2002 to 50 kg ha⁻¹. The decrease in regional nitrogen balances that are calculated by rural centres is for same magnitude.

The COUP model is used to calculate field scale N balances for five farms of different production system. The COUP model was calibrated to measured inorganic nitrogen amounts in autumn 2000. The inorganic N leached between January and September from field fertilised by cattle slurry was near the average leaching measured in Finnish fields. Inorganic N leaching from three field parcels was low and vegetation used inorganic N effectively. In two parcels yield was low, so vegetation did not take nitrogen effectively, and N leaching was high.

A model system based on ICECREAM model has been developed to be used for assessing potential nitrogen leaching in agricultural districts. Input data consisted of information about typical crops and soils. The modelling system was tested first in Southern Finland with data from Häme and Farma agricultural districts. Annual potential nitrogen leaching was calculated for the period 1990-1999 in a scenario, where agricultural practices were same for the both regions. This base line scenario showed that climatic and soil conditions have a clear impact on the leaching. The representativity of the available climatic data (location of the stations in different agricultural districts) was analysed by GIS. In the first phase of the modelling study leaching of nitrate N was calculated using data from six agricultural districts. Spatial and annual leaching varied highly for different years with a standard fertilising amount 90 kg/ha/a. When the model exercise was repeated with a decreasing fertiliser amount (110 kg/ha/a => 90 kg/ha/a), a clear decrease in nitrate leaching was observed.

Key words: nitrogen balance, nitrogen leaching

Johdanto

Työn tavoitteena on laskea ympäristötuen vaikutukset tilakohtaiseen, alueelliseen ja valtakunnalliseen typpitaseeseen. Viljelymaalle tuleva typpiylijäämä lasketaan nykyisen ympäristötukikauden (vuodet 2000-2006), aiemman tukijakson (1995-1999) ja tätä edeltävän jakson (1990-1994) ajalta. Typpiylijäämän ympäristökuormitusta arvioidaan COUP (ent. SOIL/SOILN) (Jansson & Karlberg 2001) ja ICECREAM (Tattari ym. 2001) mallien avulla. Tilakohtaisilla mineraalityppinäytteillä testataan ja kehitetään mallien toimintaa. Tuloksena saadaan arvio ympäristötukijärjestelmien vaikutuksesta viljelylohkojen typpitaseeseen ja taseen mahdollisen muutoksen vaikutus typen huuhtoutumiseen.

Aineisto ja menetelmät

Tilakohtainen typpitase ja sen mallintaminen

Simulointimallien yksityiskohtaiseksi testaamiseksi viideltä eri tuotantosuuntaan kuuluvalta tilalta (karjatila, luonnonmukainen tila, peruna/sokerijuurikastila, sikatila ja viljatila) kerätään maan mineraalityppinäytteitä 2000-2006. Tiloilta kerättiin ensimmäiset maan mineraalityppinäytteet viideltätoista lohkolta lokakuussa 2000. Lisäksi kerättiin näytteet maan rakeisuusjakauman analysointia varten.

Mallintaminen COUP-mallilla aloitettiin niistä yhdeksästä lohkoista, joista sekä rakeisuusjakauma että mineraalitypen määrä oli analysoitu kesään 2001 mennessä. Lisäksi tarvittiin tiedot satotasosta sekä viljelijöiden tekemistä toimenpiteistä mainituilla lohkoilla (Taulukko 1).

Ilmastotiedot olivat lähimmältä mittausasemalta Jokioisten Observatoriosta. Veden ja lämmön kulkeutumisen mallintaminen maaperässä perustui rakeisuusjakaumaan. Mallinnettiin 80 cm maaprofiilia, joka jakaantui kolmeen kerrokseen (0-30 cm, 30-60 cm ja 60-80 cm), sillä mittaukset on tehty näistä kerroksista.

Laskeuman mukana tulevan mineraalitypen määrä perustui SYKE:ssä käytössä olevan laskeumamallin DAIQUIRI:n (Syri ym. 1998) tuloksiin. Karjan lietalannan mukana lisätyn mineraalitypen määrä laskettiin samalla menetelmällä kuin Leppänen ja Esala (1999) käyttäen karjanlannan keskimääräisiä ravinnepitoisuuksia (Viljavuuspalvelu Oy 2000). Ammoniakkin haihtumisen vuoksi lietalannassa olevan liukoisen ammoniumin osuutta vähennettiin

perustuen Sommerin ym. (1991) empiriseen kaavaan. Kasvien typen otto arvioitiin satotason perusteella käyttäen eri kasvinosien keskimääräisiä ravinnemääriä (Tuori ym. 1995), ja maaperässä olevan orgaanisen typen alkuarvot perustuivat mittauksiin.

Taulukko 1. Toimenpiteet eri lohkoilla sekä lohkon maalaji.					
<i>Table 1. Soil type and cultivation practices on field parcels.</i>					
Lohko <i>Field</i>	Kasvi <i>Crop</i>	Satotaso <i>Yield</i>	Lannoite <i>Fertiliser</i>	Lannoitus <i>Rate</i>	Maalaji <i>Soil type</i>
		[kg ha ⁻¹]		[kg ha ⁻¹]	
Lohko 1	kaura	3500	naudan lietelanta	30000	S
Lohko 2	kevätvehnä	3900	mineraali	500	Ht
Lohko 3	kevätruis	1000	sian kuivalanta	9000	HtS
Lohko 4	kevätvehnä	1500	naudan ilmastoitu liete	24000	HtS
Lohko 5	syysvehnä	4200	sian liete	18000	Ht
Lohko 6	kaura	4500	mineraali	550	Ht
Lohko 7	ohra	4000	sian virtsa+mineraali	40000+250	HeSa
Lohko 8	syysvehnä	4200	mineraali+mineraali	350+520	Ht
Lohko 9	ohra	5200	mineraali	420	Ht

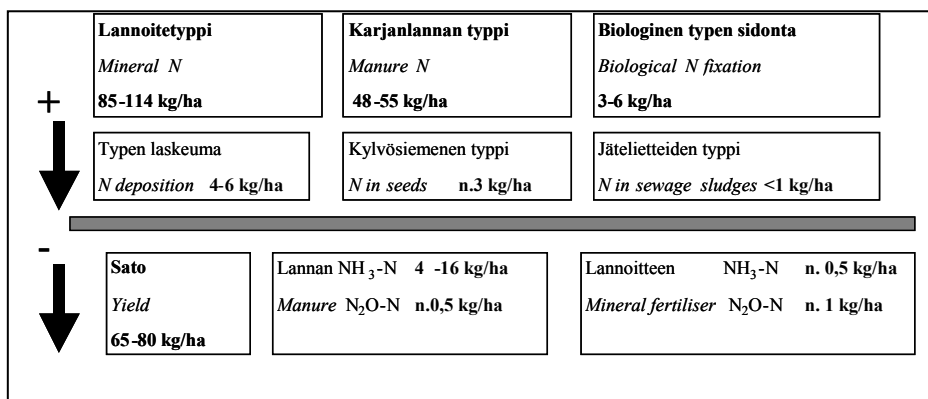
Valtakunnallinen ja alueellinen typpitase

Valtakunnallisen ja alueellisen typpitaseen laskentaan tarvittava perustieto on koottu eri lähteistä (Kuva 1). Viljelykasvien pinta-alat ja kotieläinten lukumäärät maaseutukeskuksittain on saatu Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskukselta pyydetyistä laskelmista. Satotiedot on saatu Maatilatilastollisesta vuosikirjasta, jonka tiedot ovat maaseutuelinkeinoireittäin tai TE-keskusalueittain. Maaseutukeskusalueen satona on käytetty alueellisesti lähimpänä olevan maaseutuelinkeinoireihin tai TE-keskuksen tietoja. Vuosina 1990-1991 maatilatilastollisessa vuosikirjassa alueellisena jakona on käytetty maaseutukeskusalueita, jolloin pinta-ala ja satotiedot on saatu suoraan Maatilatilastollisesta vuosikirjasta. Kotieläinten tuottama lantamäärä on laskettu

aikaisempien arvioiden mukaan (Grönroos ym. 1998). Typpilannoitteiden myyntitiedot on saatu maaseutukeskuksittain Kemiralta ja koko maata koskien Tigoteam Oy:ltä.

Eläinlajikohtaisten päästökertoimien (Grönroos ym. 1998) avulla on laskettu karjanlannasta haihtuvan NH_3 -typen määrä, joka on edelleen jaettu eri lannankäsittelyvaiheiden kesken. Mineraalilannoitteiden ammoniumin haihtumisen on arvioitu olevan 0,6% niiden sisältämästä typestä. Käytetty päästökerrin on selvästi IPCC:n oletuskerrointa (10%) pienempi, johtuen Suomessa käytettyjen lannoitteiden pienestä haihtumisesta ja sijoituslannoituksen yleisyydestä (Pipatti ym. 2000). Typen oksidien hävikin on arvioitu olevan IPCC:n mukainen, 1,25% lannan ja lannoitteiden sisältämästä typestä.

Typpilaskeuman suuruus on arvioitu Suomen ympäristökeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen mittausten perusteella (Kuusisto, Ilmatieteen laitos 1990-2000) Biologinen typensidonta on arvioitu kirjallisuustietojen ja typpeä sitovien kasvien viljelyalojen perusteella. Laskelmat on saatavissa olevan tiedon pohjalta tehty vuosilta 1990-2002.



Kuva 1. Typpitaseen laskentaan otetut typen tulot ja menot.

Figure 1. Inputs and outputs considered in nitrogen balance.

Alueellisen typpitaseen mallintaminen

Typpitaseen muutoksen vaikutusta typen huuhtoutumiseen tarkastellaan ICECREAM simulointimallin (Tattari ym. 2001) avulla maaseutukeskuksittain. ICECREAM-malli soveltuu erityisesti erityyppisten viljely- ja ilmasto-olojen aiheuttamien huuhtoumamuutosten keskinäiseen vertailuun. ICECREAM-mallin typpiosiota on kehitetty vuosien 2000-2002 aikana SYKEssä (työryhmä: I. Bärlund, M.Posch, K. Granlund) mm. MYTVAS-projektien tarpeita varten. Mallissa on tehty muutoksia mm. typenoton, typen kaasu-

maisten hävikkien ja orgaanisen aineksen mineralisaation laskentaan. Vuonna 2002 tehtiin myös tutustumiskäynti Sokerijuurikkaan tutkimuskeskukseen, jossa koottiin lähtötietoja mallin kehittelyä varten. Mallin tulostusmuuttujien määrää erityisesti typen osalta on lisätty, jotta vertailu mitattujen huuhtoumalukujen kanssa helpottuisi.

ICECREAM mallin lähtötiedoista ilmastotiedot, maalajijakaumat ja kasvillisuusjakaumat maaseutukeskuksittain on koottu MTT:ssa. Kustakin maaseutukeskuksesta valittiin mallinnusta varten kolme yleisintä pintapohjamaalajikombinaatiota. Näille teoreettisille profiileille koottiin mallin vaatimat profiilikohtaiset lähtötiedot maaperän fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Yksittäisten maalajien fysikaalisten ominaisuuksien parametrisointi vastaa pääosin MYTVAS 1 -hankkeen aikana ICECREAM-mallinnuksissa käytettyä parametrisointia (Palva ym. 2001). MYTVAS 1 – hankkeessa mallinnetut profiilit olivat kuitenkin yhtenäisesti samaa maalajia. Tyypitasehankkeessa profiilien toimivuus tarkistettiin ensin veden virtauksen osalta, koska samassa profiilissa voi esiintyä kaksi eri maalajia, mikä muuttaa veden virtausoloja. Veden virtauksella on suuri merkitys nitraatin kulkeutumisen laskennassa.

ICECREAM-mallilla on aiemmin simuloitu seuraavia kasveja/olosuhteita: ohra, kaura, kevätvehnä, syysvehnä, ruis, sokerijuurikas, rypsi, peruna, nurmi, kesanto. Nämä kasvit kattavat valtaosan maaseutukeskusten alueella viljellyistä yleisimmistä kasveista (valittu viisi yleisintä kustakin maaseutukeskuksesta). Aiemmin käytettyjä kasviparametreja on täydennetty mm. satotason osalta.

Mallintaminen aloitettiin testaamalla veden virtausta maaprofiileilla, jotka ovat yleisimpiä Uudenmaan, Nylands Svenska – maaseutukeskuksen, Farman ja Suomen talousseuran maaseutukeskusten alueiden maaperäolosuhteissa. Nämä yleisimmät maalajikombinaatiot ovat HtS/AS, LjS/AS ja HHt/HtS. Tyypiprofiilien jatkotestaus osoitti, että huuhtoutumien alueellinen ja ilmastollinen vertailu on vaikeaa, kun tyypiprofiilit ovat erilaisia keskenään. Tästä syystä päädyttiin siihen, että valtakunnallisissa simuloinneissa käytetään pintakerroksen mukaista maalajitietoa kaikissa aluekeskuksissa (kolme yleisintä pintamaalajia kustakin maaseutukeskuksesta). Tuloksia on helpompi verrata, kun muuttuvina lähtötietoina on ainoastaan ilmasto ja viljelytoimenpiteet (erityisesti lannoitus).

Ilmastosta riippuvat hydrologiset olosuhteet vaikuttavat merkittävästi potentiaaliseen nitraattitypen huuhtoumaan. Asian tarkastelemiseksi selvitettiin säätietojen edustavuutta maaseutukeskuksittain. Tätä varten tehtiin GIS-ohjelman (ArcView) avulla kartta, josta käy ilmi peltomaan, sääasemien (erityisesti säteily- ja pilvisyysmittaukset, joita on vähän saatavilla) ja maaseutukeskusten sijainti. Kartan avulla voitiin ensimmäisessä vaiheessa valita 6

ilmastoasemaa (Taulukko 2), joilta on saatavilla pitkän jakson (1990-2000) havainnot ICECREAM-mallin vaatimista muuttujista.

Taulukko 2. Mallinnuksessa käytetyt ilmastoasemat ja vastaavat maaseutukeskukset.

Table 2. Climatic stations and agricultural centres for model input data.

Maaseutukeskus <i>Agricultural centre</i>		Ilmastoasema <i>Climatic station</i>	
Nimi <i>Name</i>	Número <i>Number</i>	Nimi <i>Name</i>	LPNN numero <i>LPNN number</i>
Farma	3	Turku lentoas.	1101
Häme	7	Jokioinen obs.	1201
Pohjois-Karjala	13	Jyväskylä lentoas.	2401
Keski-Suomi	14	Joensuu lentoas.	3801
Österbott. Svenska	16	Kruunupyö lentoas.	4201

Tulokset

Maanäytteet

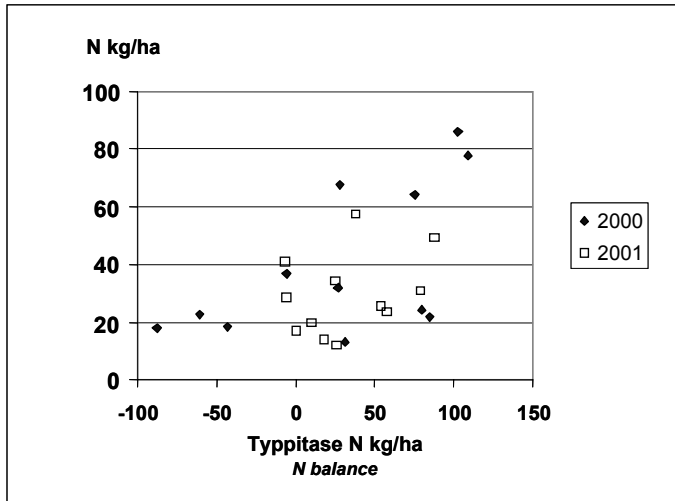
Yläneen viidentoista lohkon yleisimmät maalajit ovat hiue ja hietasavi. Lohkoille on tyypillistä sekä hiedan että hiesun korkeat pitoisuudet. Aitosavia on kaksi ja hietamaita neljä kappaletta. Kyntökerroksen alapuolella (30-60 cm) maalaji jatkuu saman tyyppisenä ja 60-80 cm kerroksessa hiedan osuus lisääntyy hietamailla ja savesta runsaammin sisältävillä vastaavasti saveksen osuus. Multavuusluokiltaan maista on 3 vähämultaista, 8 multavaa ja 4 runsasmultaista.

Syksyllä 2000 otettujen 15 lohkon maan mineraalityypimäärän keskiarvo 0-80 cm syvyydessä oli 39 kg ha⁻¹ ja keskihajonta 24 kg ha⁻¹ (minimi 13 kg ha⁻¹ ja maksimi 86 kg ha⁻¹). Keväällä 2001 otettujen näytteiden mineraalityypipitoisuudet olivat laskeneet keskimäärin 30-40%. Nurmen kynnon jälkeen maan mineraalityypimäärä oli noussut syksyn 20:sta kg ha⁻¹ kevään 60:een kg ha⁻¹.

Syksyllä 2001 mineraalityypen määrät olivat melko alhaisia. Vain parilla lohkoilla mineraalityyppiä oli yli 50 kg ha⁻¹. Keväällä 2002 otettiin maanäyte vain korkeimman pitoisuuden kevävehnälohkosta, jossa mineraalityypen määrä oli pysynyt samana koko maaprofiilissa, mutta typen määrä 60-80 cm syvyydessä oli lisääntynyt 8:sta 16:een kg ha⁻¹. Syksyllä 2002 maan mineraalityypen määrät olivat yllättävän korkeita osalla lohkoista. Lannan syyslevitykset ja

kasvien vähäinen typenotto kesän loppupuolella lienevät syynä korkeisiin mineraalityppimääriin.

Yhdistettäessä viljelijöiltä kerätyt tiedot typpitaseen laskemista varten ja syksyn mineraalityppipitoisuudet vuosilta 2000 ja 2001 (Kuva 2) nähdään korkean typpitaseen korreloivan syksyllä maahan jäävän typen kanssa melko hyvin.

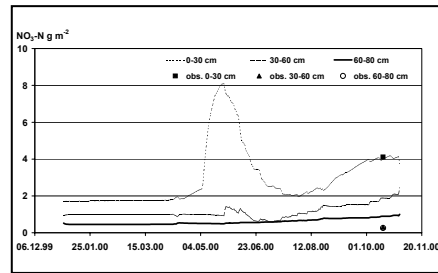
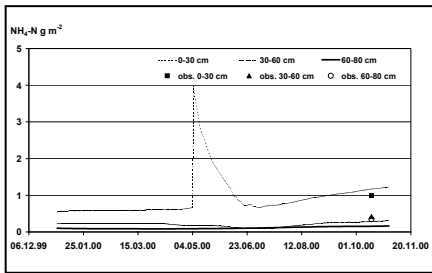


Kuva 2. Viljelykasvin typpitase ja maan mineraalityppimäärä syksyllä 2000 ja 2001.

Figure 2. N balance and soil inorganic N at the depth of 0-80 cm in autumn 2000 and 2001.

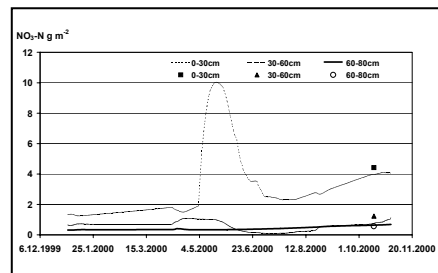
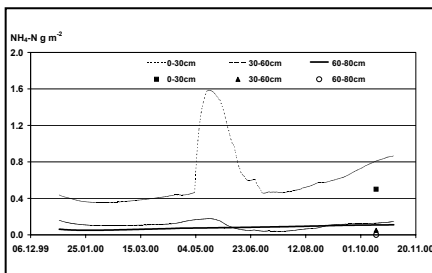
Tilakohtaisen typpitaseen mallintaminen

COUP-mallilla lasketut mineraalityypen määrät kalibroitii lohkoilta syksyllä 2000 mitattuihin mineraalityypen määriin. Kuvassa 3 on esimerkkinä esitetty mineraalityypen määrän muutokset eri maakerroksissa ajan suhteen lohkoilla 1, joka on lannoitettu naudan lietelannalla, ja kuvassa 4 on mineraalityypen määrän muutoksen lohkoilla 2, joka on lannoitettu mineraalilannoitteella. Eri lohkoilta huuhtoutuvan typen määrät ja kasvin ottaman typen määrä on taulukossa 3.



Kuva 3. Mallinnetut ja mitatut mineraalityypen määrät eri maakerroksissa. (a) ammoniumtyyppi, (b) nitraattityppi. Lohko 1.

Figure 3. Simulated and measured inorganic N amounts in different soil layers (a) NH_4-N , (b) NO_3-N .



Kuva 4. Mallinnetut ja mitatut mineraalityypen määrät eri maakerroksissa. (a) ammoniumtyyppi, (b) nitraattityppi. Lohko 2.

Figure 4. Simulated and measured inorganic N amounts in different soil layers (a) NH_4-N , (b) NO_3-N .

Taulukko 3. Lohkoilta huuhtoutuvan typen määrä sekä kasvien ottaman typen määrä

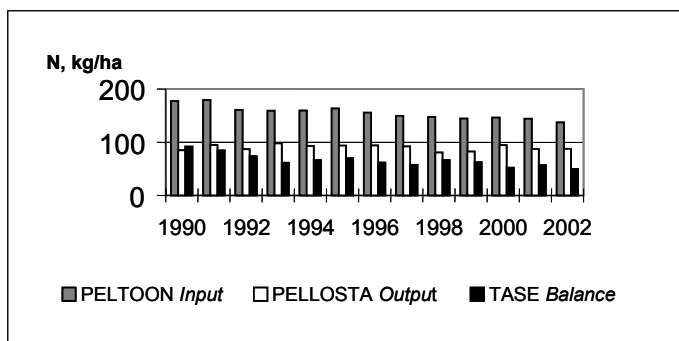
Table 3. Nitrogen leaching and plant uptake on field parcels

Lohko <i>Field</i>	Typen huuhtouma <i>Nitrogen leaching</i>	Kasvin typenotto <i>Nitrogen uptake</i>
	[kg ha ⁻¹]	[kg ha ⁻¹]
Lohko 1	10	22
Lohko 2	5	80
Lohko 3	13	21
Lohko 4	14	36
Lohko 5	5	88
Lohko 6	17	88
Lohko 7	10	61
Lohko 8	7	106
Lohko 9	7	78

Valtakunnallinen ja alueellinen typpitase

Pellolle tulevan typen määrä on vähentynyt 1990-luvun alun 175:stä kg ha⁻¹ vuoden 2002 137:ään kg ha⁻¹ (Kuva 5). Tämä johtuu lähinnä typpilannoitteiden käytön vähentymisestä. Sadon mukana poistuva typpimäärä on vaihdellut kasvukauden suotuisuudesta riippuen 65-80 kg ha⁻¹. Taseen ylijäämä on vähentynyt tarkasteluajankohtana lähes 90:stä kg ha⁻¹ noin 50:een kg ha⁻¹.

Alueellisessa typpitaseessa (Taulukko 4) havaitaan myös typen ylijäämän alentuneen 1990-luvulla kaikkien maaseutukeskusten alueella Österbottenin maaseutukeskuksen alueella ylijäämä on ollut koko 1990-luvun samaa luokkaa ja tarkasteltaessa väkilannoitteiden käyttöä havaittiin lannoituksen olleen 1990-luvun alussa 20-30 kg ha⁻¹ alhaisempi kuin muualla. Tähän on todennäköisesti syynä, että maalajeista 25% on multamaita ja loput hietamaita. Savimaita alueella esiintyy hyvin vähän.



Kuva 5. Valtakunnallinen typpitase 1990-2002.

Figure 5. Nitrogen balance of Finland in 1990-2002.

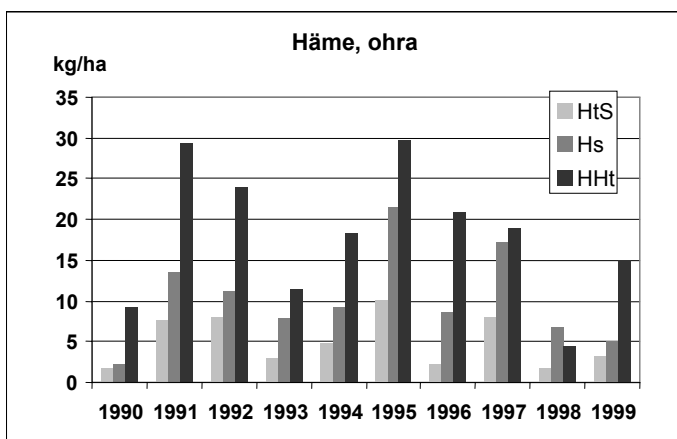
Taulukko 4. Alueellinen typpitase maaseutukeskuksittain. (NSL=Nylands svenska lantbrukssällskap, FHS= Finska Hushållningssällskapet)

Table 4. Regional nitrogen balance of Rural centres.

Maaseutukeskus Rural centre	1990	1994	1995	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Uusimaa ja NSL	79	52	66	44	57	76	38	47	48
Farma + FHS	93	70	80	61	76	85	63	62	64
Satakunta	82	57	69	47	64	49	46	55	50
Pirkanmaa	77	58	55	43	49	50	35	40	35
Häme	87	73	87	59	68	74	51	49	50
Päijät-Häme	82	63	63	50	52	58	34	34	33
Kymenlaakso	83	65	73	56	57	70	40	45	38
Etelä-Karjala	84	77	73	68	52	70	45	50	44
Mikkeli	88	65	64	65	58	57	50	37	32
Pohjois-Savo	125	83	80	67	72	56	60	54	50
Pohjois-Karjala	105	63	63	53	63	47	46	45	38
Keski-Suomi	98	59	53	49	60	55	44	48	40
Etelä-Pohjanmaa	89	71	65	57	73	57	56	59	47
Österbotten	58	56	51	60	68	45	44	49	45
Keski-Pohjanmaa	119	89	90	78	85	60	72	70	63
Oulu	90	70	63	57	55	42	45	49	39
Kainuu	137	78	91	71	81	57	58	62	45
Lappi	99	65	75	69	80	64	60	43	39

Alueellisen tyypitaseen mallintaminen

Mallinnuksen testaukset aloitettiin uudella, yhtenäiseen maalajiprofiiliin perustuvalla strategialla Farman ja Hämeen maaseutukeskusten aineistoilla käyttäen eri kasveille koko jaksolla samoja kasvikohtaisia ympäristötuen mukaisia lannoitustasoja. Tällainen ns. perusmallinnus eli taustamallinnus tehdään kaikille maaseutukeskuksille niin, että vaihtuvina muuttujina on vain ilmasto-olot. Näin pystytään erottamaan erilaisten ilmasto-olojen luontainen vaikutus huuhtoumaan. Tämän jälkeen voidaan tutkia toteutuneiden lannoitustapojen eroista ja tyypitaseen muutoksista johtuvia vaikutuksia huuhtoumaan. Esimerkkinä perusmallinnustuloksista on kuvissa 6 ja 7 esitetty nitraattitypen vuosittainen perkolaatio (maaprofiilista huuhtoutunut $\text{NO}_3\text{-N}$) ohra- kasvustosta Hämeen ja Farman maaseutukeskusten ilmasto- ja maalajiolo- suhteissa.

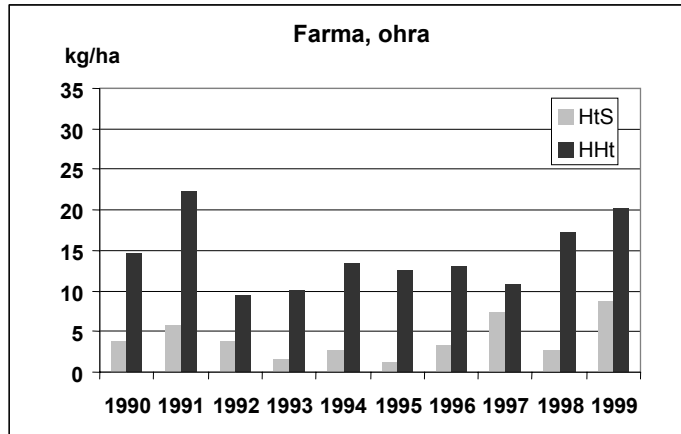


Kuva 6. ICECREAM mallilla laskettu vuosittainen nitraattitypen perkolaatio ohra- kasvustosta Hämeen maaseutukeskuksen ilmasto-oloissa eri maalajeilla.

Figure 6. ICECREAM model results on annual percolation of nitrate nitrogen for barley and for different soil types in Häme agricultural district.

Alueellisten huuhtoumaerojen tarkastelemiseksi mallinnettiin seuraavaksi huuhtouman vaihtelua kuuden ilmastoaseman havaintojen perusteella. Nämä asemat edustivat Uudenmaan (1), Farman (3), Hämeen (7), Pohjois-Karjalan (13), Keski-Suomen (14) ja Österbottens Svenska (16) maaseutukeskusten oloja. Tässä perusmallinnuksessa tarkasteltiin ensin tilannetta, jossa viljely- kasvina on ohra, maalajina HHt ja pellon kaltevuutena 1%. Ohraa viljellään kaikissa em. maaseutukeskuksissa. Maalajia HHt esiintyy samoin kaikkien em. keskusten alueella. Lannoitustasoksi oletettiin koko mallinnsjaksoilla vakiolannoitus $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$. Tämän jälkeen tarkasteltiin samoilla alueilla tilannetta, jossa N lannoitus putoaa arvosta $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ arvoon $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Tämä vastaa valtakunnallisessa taseanalyysissä todettua lannoituksen vä-

henemistä. Eri maaseutukeskuksia edustavien ilmasto-asemien (erityisesti säteily- ja pilvisyyshavainnot) etsimiseksi tehdyn kartan perusteella on tähän mennessä hankittu 8 ilmastoaseman havaintotiedot. Valittujen asemien ja maaseutukeskusten sijainti on esitetty kuvassa 8.



Kuva 7. ICECREAM mallilla laskettu vuosittainen nitraattitypen perkolaatio ohrakasvustosta Farman maaseutukeskuksen ilmasto-oloissa eri maalajeilla.

Figure 7. ICECREAM model results on annual percolation of nitrate nitrogen for barley and for different soil types in Farma agricultural district.

Nitraattitypen vuosittainen mallinnettu potentiaalinen huuhtouma vakiolannoituksella ja alenevalla lannoituksella laskettuna on esitetty maaseutukeskuksittain kuvissa 9a ja 9b. Mallinnukset tehtiin koko jaksolle 1990-2000, mutta kuvissa on esitetty tulokset alkaen vuodesta 1991, koska ensimmäisenä vuonna malli hakee vielä tasapainoa prosessien suhteen (ns. "lämmittelyjakso").



Kuva 8. Maaseutukeskusten ja valittujen säteily/pilvisyyshavaintoasemien sijainti.

Figure 8. Location of agricultural districts and selected measuring stations for radiation/cloudiness.

Tulosten tarkastelu

Tilakohtainen typpitase

Lohkoilta tammi-syyskuun aika mallitettu huuhtoutuneen mineraalitypen ($5\text{--}17\text{ kg ha}^{-1}$) määrä vastasi keskimääräistä huuhtoutumista suomalaisilta pelloilta. Esimerkiksi lohkolta 1 huuhtoutui 10 kg ha^{-1} , joka vastasi hyvin huuhtoutumaa pelloilta, joita on lannoitettu keväällä lietelannalla. Niiniojan (1993) mukaan savipelloilta, joilla viljeltiin ohraa, huuhtoutui keskimäärin 9 kg ha^{-1} mineraalityppeä salaojiin. Turtolan ja Kemppaisen (1998) mukaan nurmelta huuhtoutui mineraalityppeä keskimäärin 7 kg ha^{-1} salaojavesien ja pintavalunnin mukana. Tutkimuksen maalaji oli hieno hieta.

Lohkolta 2, 5 ja 8 huuhtoutui tammi-syyskuussa vähemmän typpeä kuin keskimäärin suomalaisissa tutkimuksissa. Näillä lohkoilla kasvusto käytti typen tehokkaasti hyväkseen. Lohkojen 3 ja 4 satotasot jäivät normaalia alhaisemmaksi vuonna 2000, joten kasvien typen otto oli myös keskimääräistä alempi. Tämän perusteella lohkoilta huuhtoutuva mineraalitypen määrä voisi olla suurempikin kuin nyt tulokseksi saatu. Lohkojen nitraattitypen tausta-arvo oli selvästi pienempi kuin muilla lohkoilla. Sekä lohkon 3 että lohkon 4 kalibrointia tuleekin tarkentaa seuraavina vuosina, kun enemmän mittausdataa on saatavilla.

Valtakunnallinen ja alueellinen tyypitase

Tyypitaselaskennan merkittävin epävarmuus liittyy tulopuolella lannan käyttömääriin ja tyypipitoisuuteen, ja menopuolella nurmisatojen määriin ja tyypipitoisuuksiin. Tilastotiedoista tapahtuvassa laskennassa absoluuttisia arvoja tärkeämpää onkin tarkastella aineistossa mahdollisesti esiintyvää muutosta ajan suhteen. Taseen ylijäämän pieneneminen johtuu pääasiassa tyypilannoitustasojen alenemisesta, koska sadossa poistuva tyypimäärä on pysynyt suunnilleen samana.

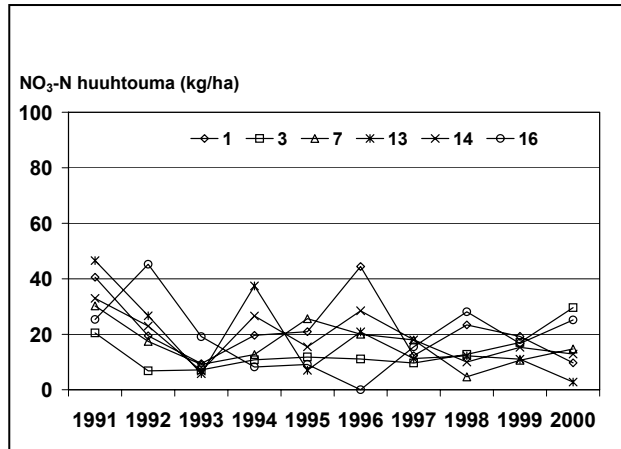
Alueellisen tyypitaseen mallintaminen

Maaprofiilien uutta käsittelytapaa (ns. perusmallinnus) testattiin kahden eteläisen maaseutukeskuksen aineistoilla. Testaus osoitti, että menetelmä sopii hyvin typen huuhtouman alueelliseen vertailuun. Kuvat 6 ja 7 havainnollistavat maalajin ja ilmaston vaikutusta huuhtoumaan. Karkeammalla maalajilla (HHt) nitraattitypen huuhtouma ohrakasvustosta on suurempi kuin hienomalla maalajilla (HtS). Hiesumaalajilla potentiaalinen huuhtouma sijoittuu näiden kahden arvon väliin. Mallinnuksessa tyypilannoitus oli kummallakin alueella yhtäsuurta ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$).

Potentiaaliset huuhtoumat olivat yleensä pienemmät Farman alueella. Tämä johtuu siitä, että kasvin typenotto (ja sato) riippuu mallissa säätekijöistä ja Farman olosuhteissa mallilla laskettu kasvin typenotto oli suurempi kuin Hämeen olosuhteissa.

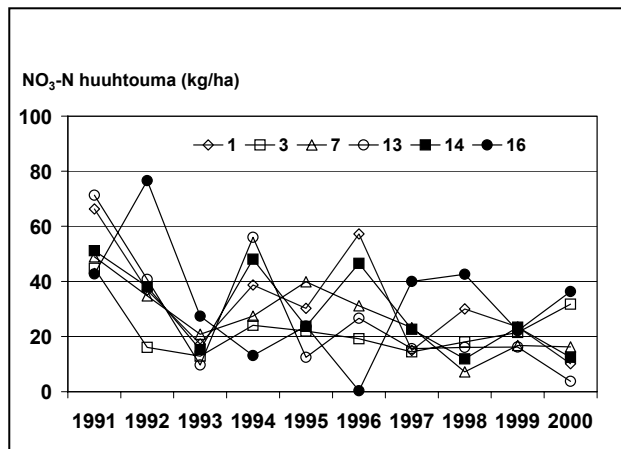
Vuosittainen vaihtelu potentiaalisessa huuhtoumassa on myös suurta. Tämä vaikeuttaa yleisesti ravinnekuormituksen vähentämiseen tähtäävien toimenpiteiden vaikutusten arviointia. Malli on herkkä sääoloille, mutta se ei pysty ennustamaan "katastrofeja", esimerkiksi itämisen epäonnistumisen aiheuttamaa katoa. Tästä seuraa se, että mallilla lasketut ja tilastotietoihin perustuvat satotasot eivät välttämättä vastaa toisiaan.

Valtakunnallisessa tarkastelussa (Kuva 9a, vakiolannoitus) havaitaan, että myös alueiden välinen vaihtelu huuhtoumassa on suurta ja heijastaa mm. sadannan erilaista jakautumista eri puolilla Suomea. Tilanteessa, jossa lannoitus alenee arvosta $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ arvoon $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ jakson 1990-2000 aikana havaitaan samanlaista voimakasta alueellista ja vuosien välistä vaihtelua, mutta huuhtoumalla on selvästi lannoituksen vähenemistä noudattava aleneva trendi (Kuva 9b).



Kuva 9a. ICECREAM mallilla laskettu nitraattitypen potentiaalinen huuhtouma kuuden maaseutukeskuksen ilmasto-oloissa ohrakasvustossa HHT maalajissa jaksolla 1991-2000. Vakiolannoitustaso $90 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Maaseutukeskusten nimet ja sijainti käyvät ilmi taulukosta 2 ja kuvasta 8.

Figure 9a. Potential leaching of nitrate modelled by ICECREAM for barley in sandy loam for six agricultural districts during 1991-2000. Constant N fertilisation $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. The names and location of agricultural districts see Table 2 and Fig. 8.



Kuva 9b. ICECREAM mallilla laskettu nitraattitypen potentiaalinen huuhtouma kuuden maaseutukeskuksen ilmasto-oloissa ohrakasvustossa HHT maalajissa jaksolla 1991-2000. Aleneva lannoitus arvosta $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ N arvoon $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ N. Maaseutukeskusten nimet ja sijainti käyvät ilmi taulukosta 2 ja kuvasta 8.

Figure 9b. Potential leaching of nitrate modelled by ICECREAM for barley in sandy loam for six agricultural districts during 1991-2000. Decreasing N fertilisation from $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ to $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. The names and location of agricultural districts see Table 2 and Fig. 8.

Johtopäätökset

Tilakohtainen typpitase

Näiden tulosten perusteella COUP-malli on mahdollista kalibroida tehtyjen mittausten perusteella, niin että mallinnustulosten perusteella voidaan arvioida typpitaseen eri komponenttien suuruuksia. Näin voidaan arvioida tilakohtaisesti eri kasvien ja viljelykäytäntöjen vaikutusta typpitaseeseen eri vuosina. Mallinnustuloksia tullaan tarkentamaan myöhemmin saatavissa olevien mittaustulosten perusteella. Mittaustulosten perusteella lasketaan lohkokohdaiset typpitaseet.

Alueellinen typpitase

Valtakunnallisen ja alueellisen typpitaseen laskeminen tilastotiedoista antaa kuvan typpitaseen muutoksista tarkastelujakson kuluessa. Koska laskenta osoittaa ylijäämän olevan vuosittain edelleenkin vähintään 50 kg ha^{-1} , on typen hävikkien jakautuminen pohdittava todennäköisesti uudelleen. 1990-luvun alussa ylijäämän kohtaloksi arvioitiin denitrifikaatio 15 kg ha^{-1} , huuhtoutuminen 15 kg ha^{-1} , ammoniakkin haihtuminen 14 kg ha^{-1} ja typen kertyminen maahan 24 kg ha^{-1} (Yhteensä 68 kg ha^{-1} , Rekolainen & Kauppi 1992). Koska pitempiaikainen typen kertyminen maahan edellyttäisi maan orgaanisen aineksen määrän lisääntymistä, on ilmeisesti maahan kertyväksi ajatellun 24 kg ha^{-1} jakautuminen erilaisiin hävikkeihin arvioitava uudelleen.

Alueellisen typpitaseen mallintaminen

Yksinkertaisiin maaprofiileihin perustuva mallinnustapa osoittautui testauksissa käyttökelpoiseksi lähestymistavaksi alueellisia mallinnuksia varten. Perusmallinnus tarjoaa tausta-aineiston, josta voidaan analysoida alueellisten ilmasto- ja maalajitekijöiden luontaista vaikutusta potentiaaliseen huuhtoumaan. Tämän jälkeen on mahdollista arvioida alentuneiden lannoitustasojen vaikutusta eri alueilla. Alueellisen mallinnuksen ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltiin huuhtouman vaihtelua kuuden maaseutukeskuksen alueella. Alueellinen ja vuosittainen vaihtelu nitraattitypen huuhtoumassa oli suurta vakio-lannoitustasolla $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Kun mallinnus toistettiin käyttäen alenevaa lannoitustasoa ($110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \Rightarrow 90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) havaittiin vuosittaisen vaihtelun lisäksi myös selkeä aleneva trendi potentiaalisessa huuhtoumassa. Lähtöaineisto vaatii vielä täydennystä ilmastohavaintojen suhteen. Jatkossa tehdään vastaavat mallitarkastelut myös muille maaseutukeskusten yleisille kasveille ja maalajeille.

Kirjallisuus

- Grönroos, J., Nikander, A., Syri, S., Rekolainen, S. & Ekqvist, M. 1998. Maatalouden ammoniakkipäästöt. Suomen ympäristö 206. Helsinki, Suomen ympäristökeskus 68 s.
- Ilmatieteen laitos 1990-2000. Ilmanlaatumittauksia. Ilmatieteen laitos. Helsinki.
- IPCC. 2002. Special Report on Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change Saatavissa internetistä: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>
- Jansson, P.-E. & Karlberg, L. 2001. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. TRITA-AMI Report 30 87. Stokholm: Department of Civil and Environmental Engineering. Royal Institute of Technology. s. 321.
- Kuusisto, E. 1997. Laskeuma. Ympäristö 3: 24.
- Leppänen, A. & Esala, M. 1999. Keväisen mineraalityypianalyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamiseen. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 65. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 25 s.
- Niinioja, R. 1993. Lietelannan levitys ja ravinteiden huuhtoutuminen. Leaching of nutrient from land application of slurry [in Finnish]. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja-sarja A 150. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. 90 s.
- Palva, R., Rankinen, K., Granlund, K., Grönroos, J., Nikander, A. & Rekolainen, S. 2001. Maatalouden ympäristötuen toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 1995–1999. MYTVAS-projektin loppuraportti. (In Finnish with English abstract). Suomen ympäristö 478. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 92 s.
- Parris, K. 1998. Agricultural nutrient balances as agri-environmental indicators: an OECD perspective. Environmental Pollution 102: 219-225.
- Pipatti, R., Tuhkanen, S., Mälkiä, P. & Pietilä, R. 2000. Maatalouden kasvihuonepäästöt sekä päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. VTT Julkaisuja 841. Espoo: VTT. 72 s. Saatavissa internetistä: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/2000/J841.pdf>
- Rekolainen, S. & Kauppi, L. 1992. Maatalous- ja vesien kuormitus : Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 359. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. 206 s.

- Sommer, J., Olesen, J. E. & Christensen, B.T. 1991. Effects of temperature, wind speed and air humidity on ammonia volatilization from surface applied cattle slurry. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 117: 91-100.
- Syri, S., M. Johansson & Kangas, L. 1998. Application of nitrogen transfer matrices for integrated assessment. *Atmospheric Environment* 32: 409-413.
- Tattari, S., Bärlund, I., Rekolainen, S., Posch, M., Siimes, K., Tuhkanen, H-R & Yli-Halla, M. 2001. Modeling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Transactions of ASAE* 44: 297-307.
- Tuori, M., Kaustell, K., Valaja, J., Aimonen, E., Saarisalo, E. & Huhtanen, P. 1996. *Rehutaulukot ja ruokintasuositukset*. Helsinki : Yliopistopaino. 99 s. ISBN-numero 951-45-7348-X.
- Viljavuuspalvelu Oy 2000. *Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä 2000*. 31 s.

Maatalouden ravinnekuormitus ja sen vesistövaikutukset – arviointi seuranta-aineistojen avulla

Järvien vedenlaatu

Petri Ekholm, Johanna Virtanen ja Sari Mitikka

Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki, petri.ekholm@ymparisto.fi, johanna.virtanen@ymparisto.fi, sari.mitikka@ymparisto.fi

Tiivistelmä

Maatalouden ympäristöohjelma on laajin Suomessa toteutettu maatalouden ravinnekuormituksen vähentämiseen pyrkivä vesiensuojelutoimi. Tässä työssä tarkasteltiin 20 maatalouden kuormittaman järven vedenlaatua kaudella ennen ympäristötukea (vuodet 1990–1994) ja ensimmäisen (vuodet 1995–1999) ja toisen ympäristötukikauden aikana (vuodet 2000–2002). Järvien rehevyystaso ei OECD:n kokonaisfosforin ja klorofylli *a*:n pitoisuuteen sekä näkösyvyyteen perustuvien luokitusten mukaan ollut yleisesti laskussa, joissakin kohteissa havaittiin jopa rehevyystason nousua. Tulos on sopusoinnussa maatalousalueilla tehtyjen kuormitusmittausten kanssa, joiden mukaan maataloudesta peräisin oleva ravinnekuormitus ei ole toistaiseksi laskenut. Nitraattidirektiivin ohjearvo $25 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3$ ylittyi yhdessä tutkimusjärvessä, tosin vain yhden päivän näytteissä.

Avainsanat: ympäristö, ravinteet, seuranta, vedenlaatu, maatalous, vesistöt, rehevöityminen, typpiyhdisteet, nitraatit, fosfori

Agricultural nutrient loading and its impact on surface waters – an assessment based on monitoring data

Water quality in lakes

Petri Ekholm, Johanna Virtanen and Sari Mitikka

Finnish Environment Institute, P.O.Box 140, FIN-00251 Helsinki, Finland,
petri.ekholm@ymparisto.fi, johanna.virtanen@ymparisto.fi, sari.mitikka@ymparisto.fi

Abstract

EU's agri-environmental programme comprises the most important measure aiming at the reduction of agricultural nutrient loading in Finland. In this study, we examined the changes in water quality in 20 agriculturally loaded lakes during 1990–2002; years 1990–1994 representing the period before the agri-environmental programme and years 1995–1999 and 2000–2002 representing the first and second phase of the programme, respectively. The mean concentrations of total phosphorus, chlorophyll a and Secchi depth were used to characterize trophic level of the lakes (OECD fixed and open classifications). In addition, the maximum concentrations of nitrate were compared with the threshold value of 25 mg l⁻¹ NO₃ stated in the Nitrates Directive. In general, the trophic level of the lakes was not decreasing; in contrast, some of the lakes appeared to have become more eutrophic. This finding is in accordance with the recent observations that the agricultural nutrient loading has not decreased. The level of 25 mg l⁻¹ NO₃ was exceeded in only one lake (on one sampling occasion).

Key words: water quality, agriculture, eutofication, nitrate, monitoring

Johdanto

Maatalous on vesiemme suurin ravinnekuormittaja (Ekholm ym. 1999). Tästä huolimatta tietoa maatalouden vaikutuspiirissä olevien järvien tilasta ja sen kehityksestä on melko vähän. Mitikka ja Ekholm (2003) tarkastelivat Euro-waternet-seurantaan kuuluvien suomalaisten järvien tilaa. Tutkimuksessa jaettiin 253 järvihavaintopaikkaa viiteen luokkaan: lähellä luonnontilaa olevat referenssiasiemat, alueellisesti tyypillistä vedenlaatua kuvaavat asemat, isojen järviäntaiden asemat, pistekuormitetut asemat ja hajakuormitetut asemat. Hajakuormitettuja asemia oli 17, joista yksi edusti metsätalouden kuormittamaa järveä ja loput maatalouden kuormittamia järviä. Hajakuormitettuisissa järvissä keskimääräiset ravinnepitoisuudet ja klorofylli *a*:n arvot olivat em. ryhmistä korkeimmat ja näkösyvyys matalin. Trenditarkastelu osoitti, että – toisin kuin pistekuormitettujen järvien – hajakuormitettujen järvien vedenlaatu ei ollut parantunut jaksolla 1976–2001. Ekholm ja Mitikka (2004) jatkoivat hajakuormitettujen järvien tarkastelua tutkimalla 20 maatalousjärven nykyistä vedenlaatua ja vedenlaadun kehitystä kaudella 1976–2002. Tutkimus vahvisti pitkälti Mitikan ja Ekholmin (2003) havainnot. Suurin osa maatalousjärvistä voitiin nykyisen klorofylli *a* -pitoisuuden perusteella luokitella hypertrofisiksi (ylireheviksi). Moni kohde kärsikin sinileväkukinnoista ja talviaikaisista happiongelmistä. Lisäksi osa järvistä oli voimakkaasti savisameita. Merkkejä vedenlaadun paranemisesta oli havaittavissa vain kunnostetussa Vihdin Enäjärvässä.

Merkittävin yritys vähentää maataloudesta peräisin olevaa ravinnekuormitusta liittyy vuonna 1995 alkaneeseen maatalouden ympäristöohjelmaan. Edellä kuvatuissa tutkimuksissa tarkastelujakso on liian pitkä maatalouden ympäristöohjelman vaikutusten arviointiin. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kyseisten 20 maatalousjärven rehevyytensä ja nitraattipitoisuutta kaudella 1990–2002. Vuodet 1990–1994 muodostivat vertailujakson, kun taas vuodet 1995–1999 kuvasivat ensimmäistä tukikautta ja vuodet 2000–2002 toisen tukikauden alkuosaa.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimukseen kuului 20 etelä- ja keski-suomalaisista pääosin maatalouden kuormittamaa pientä ja keskisuurta järveä (0,4–155 km²). Ekholm ja Mitikka (2004) esittävät tarkemmin järvien ominaisuudet, havaintopaikat ja aineiston rajaukset. Järvet luokiteltiin OECD:n ehdottamiin rehevyytsluokkiin fosforin (P), klorofylli *a*:n (a-chl) ja näkösyvyyden (sdt) perusteella. Taulukko 1 on esitetty OECD:n kiinteä luokitus (*fixed classification*). Tämän lisäksi käytettiin myös avointa luokitusta (*open classification*), jossa luokituskriteereinä on keskiarvon lisäksi muuttujien hajonta. Luokittelussa käytettiin kesäpitoisuuksien (16.7.–15.9.) vuosittaisia mediaaneja, joista laskettiin keskiarvot jaksoil-

le 1990–1994, 1995–1999 ja 2000–2002. Nitraattidirektiivin mukaan vesien nitraattipitoisuuden tulisi olla alle 25 mg l⁻¹ NO₃. Tämän tavoitteen toteutumisista selvitetiin tarkastelemalla kunkin järven nitraattipitoisuuksien maksimi-arvoja em. jaksoilla.

Taulukko 1. OECD:n rehevyysluokkarajat (Fixed classification, Premazzi ja Chiaudani 1992). Avovesikauden keskiarvo.

Table 1. OECD fixed classification on eutrophication (Premazzi and Chiaudani 1992). Means of the productive season.

Rehevyysluokka <i>Trophic state</i>	Fosfori (mg m ⁻³) <i>Phosphorus</i>	Klorofylli a (mg m ⁻³) <i>Chlorophyll a</i>	Näkösyyvyys (m) <i>Secchi depth</i>
Ultra-oligotrofinen (UO) <i>Ultra-oligotrophic</i>	< 4	< 1	> 12
Oligotrofinen (O) <i>Oligotrophic</i>	< 10	< 2,5	> 6
Mesotrofinen (M) <i>Mesotrophic</i>	10–35	2,5–8	6–3
Eutrofinen (E) <i>Eutrophic</i>	35–100	8–25	3–1,5
Hyper-eutrofinen (HE) <i>Hyper-eutrophic</i>	>100	> 25	< 1,5

Vuosittain suurestikin vaihtelevat hydrologiset olot vaikuttavat ratkaisevasti niin maatalouden kuormitukseen kuin sen vesistövaikutuksiinkin. Kolmella pienellä maatalousvaltaisella valuma-alueella tehtyjen mittausten perusteella keskimääräisessä valunnassa ei ollut selkeitä eroja vuosien 1990–1994, 1995–1999 ja 2000–2002 välillä; Vihdissä sijaitsevalla Hovin alueella keskimääräinen vuosivalunta kasvoi 230 mm:stä 360 mm:iin em. kausilla, mutta lounaissuomalaisilla Savijoen ja Löytäneenojan valuma-alueilla valunnat olivat lievässä laskussa (ks. Uusitalo ja Ekholm, tämä raportti).

Tulokset

Järvien keskimääräiset kokonaisfosforipitoisuudet vaihtelivat välillä 20–320 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Taulukko 2), klorofylli *a*:n pitoisuudet välillä 6–130 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Taulukko 3) ja näkösyvyys välillä 0,3–3,2 m (Taulukko 4). Fosforipitoisuuden perusteella arvioitu rehevyysluokka (kiinteä luokitus) säilyi ennallaan 13 järvessä, nousi 4 ja laski 2 järvessä (Taulukko 2 ja 5). Klorofyllipitoisuuden perusteella rehevyysluokka säilyi samana 9 järvessä, nousi 8 järvessä ja laski 2 järvessä (Taulukko 3 ja 5). Näkösyvyyden perusteella rehevyysluokka säilyi muuttumattomana 17 järvessä ja huonontui 2 järvessä (Taulukko 4 ja 5). Enäjärvessä havaittiin huomattava kokonaisfosfori- ja klorofylli *a* -pitoisuuksien pieneneminen ja näkösyvyyden kasvu, mutta korkean lähtötason vuoksi rehevyysluokka (hypereutrofinen) muuttui vain fosforin osalta.

Järvien rehevyysluokka riippui luokittelumuuttujasta. Fosforipitoisuuden perusteella saatiin useimmissa tapauksissa matalin rehevyysluokka ja näkösyvyyden perusteella korkein. Tämä johtuu siitä, että näkösyvyyttä pienentää monessa järvessä leväbiomassan lisäksi voimakas savisamennus. Klorofylli-*a*:n perusteella (kiinteä luokitus) 13 järvestä oli hyper-eutrofisia ja 6 eutrofisia kaudella 2000–2002. Vertailujaksolla (1990–1994) 9 järveä oli hypereutrofisia, 8 eutrofisia ja 2 mesotrofisia.

Avoin luokitus antoi järville jonkin verran alhaisempia rehevyystasoja. Fosforipitoisuuden perusteella luokiteltiin kolme järveä jopa oligotrofiseksi (Taulukko 2 ja 6). Kausien välillä tapahtuneesta muutoksesta kumpikin luokitus antoi samansuuntaisen tuloksen fosforin osalta. Sen sijaan klorofylli *a*:n perusteella avoin luokitus havaitsi vähemmän muutoksia (12 järvessä luokka pysyi samana, 3 järvessä kasvoi ja 4 laski) ja näkösyvyyden perusteella taas enemmän muutoksia (15 järvessä luokka pysyi samana, 4 nousi). Yhteenvotaulukkojen 5 ja 6 perusteella voitaneen todeta, että yleinen suuntaus järvien tilassa on pikemminkin rehevyyden (ja savisamennuksen) kasvu kuin vähentyminen.

Järvien nitraattipitoisuudet ovat korkeimmillaan talvella biologisen aktiivisuuden ollessa vähäistä. Nitraattidirektiivin mukainen nitraattipitoisuuden raja-arvo 25 mg l^{-1} NO_3 ylittyi vain Villikkalanjärven alusvedessä 13.3.2000 otetuissa näytteissä; muissa järvissä ohjearvo ei ylittynyt (Taulukko 7). Koska Villikkalanjärvessä (Kuva 1) havaittiin ohjearvon ylittävä NO_3 -pitoisuus, poimittiin SYKE:n vedenlaaturekisteristä kaikki kyseisestä järvestä tehdyt NO_3 -määritykset ilman vuosi-, vuodenaika- tai syvyysrajoituksia. Missään muussa näytteessä NO_3 -pitoisuus ei kuitenkaan ylittänyt arvoa 25 mg l^{-1} . Villikkalanjärveä kuormittaa maatalouden lisäksi haja-asutus.

Taulukko 2. Järvien keskimääräiset kokonaisfosforipitoisuudet (TP, (mg m⁻³) ja jako niiden perusteella rehevyyssluokkiin. Rehevyyssluokkien lyhenteet esitetty taulukossa 1.

Table 2. Mean total phosphorus concentration (TP, mg m⁻³) and trophic status in the lakes studied. See Table 1 for the abbreviations of the trophic status.

Järvi Lake	1990–1994			1995–1999			2000–2002		
	TP	Fixed	Open	TP	Fixed	Open	TP	Fixed	Open
Ahmasjärvi	120	HE	E	120	HE	E	120	HE	E
Ahveninen	33	M	M	30	M	M	33	M	M
Enäjärvi	170	HE	HE	140	HE	E	90	E	E
Juoksjärvi	33	M	M	33	M	M	37	E	M
Karhijärvi	67	E	M	60	E	E	53	E	E
Kirkkojärvi (Rymättylä)	310	HE	E	320	HE	HE	300	HE	E
Kirmanjärvi	57	E	M	39	E	HE	38	E	M
Köyliönjärvi	130	HE	E	110	HE	E	120	HE	E
Lappajärvi	25	M	O	23	M	M	26	M	M
Lehijärvi	40	E	M	44	E	E	34	M	M
Pyhäjärvi (Säkylä)	21	M	O	20	M	M	23	M	M
Pyhäjärvi (Tammela)	49	E	M				57	E	E
Pyhäjärvi (Artjärvi)	32	M	O	33	M	M	36	E	M
Sotkamojärvi	28	M	M	32	M	M	43	E	M
Sääskjärvi	73	E	E	81	E	E	120	HE	E
Tiilänjärvi	61	E	E	51	E	E	57	E	M
Ullavanjärvi	49	E	M	55	E	E	53	E	M
Villikkalanjärvi	87	E	E	130	HE	E	100	E	E
Ylisjärvi	180	HE	E	160	HE	E	210	HE	E

Taulukko 3. Järvien keskimääräiset klorofylli a -pitoisuudet (a-chl, mg m⁻³) ja jako niiden perusteella rehevyyssluokkiin. Rehevyyssluokkien lyhenteet esitetty taulukossa 1.

Table 3. Mean concentration of chlorophyll a (a-chl, mg m⁻³) and trophic status in the lakes studied. See Table 1 for the abbreviations of the trophic status.

Järvi <i>Lake</i>	1990–1994			1995–1999			2000–2002		
	a-chl	fixed	open	a-chl	fixed	open	a-chl	fixed	open
Ahmasjärvi	100	HE	HE	90	HE	HE	100	HE	HE
Ahveninen	32	HE	E	22	E	E	31	HE	E
Enäjärvi	120	HE	HE	69	HE	E	42	HE	E
Juoksjärvi	19	E	E	27	HE	E	83	HE	HE
Karhijärvi	56	HE	E	26	HE	E	20	E	E
Kirkkojärvi (Rymättylä)	63	HE	HE	130	HE	HE	110	HE	HE
Kirmanjärvi	31	HE	E	18	E	E	22	E	E
Köyliönjärvi	100	HE	HE	69	HE	E	64	HE	E
Lappajärvi	13	E	E	10	E	E	11	E	E
Lehijärvi	21	E	E	28	HE	E	18	E	E
Pyhäjärvi (Säkylä)	8	M	M	32	HE	E	13	E	E
Pyhäjärvi (Tammela)	27	HE	E	6	M	M	29	HE	E
Pyhäjärvi (Artjärvi)	8	M	M	9	E	M	12	E	E
Sotkamojärvi	22	E	E	18	E	E	45	HE	E
Sääskjärvi	23	E	HE	31	HE	HE	50	HE	E
Tiiläänjärvi	24	E	E	29	HE	HE	31	HE	E
Ullavanjärvi	23	E	HE	55	HE	HE	40	HE	E
Villikkalanjärvi	20	E	E	46	HE	E	39	HE	E
Ylisjärvi	49	HE	E	61	HE	E	110	HE	E

Taulukko 4. Järvien keskimääräiset näkösyvydet (sdt, m) ja jako niiden perusteella rehevyyssluokkiin. Rehevyyssluokkien lyhenteet esitetty taulukossa 1.

Table 4. Mean Secchi depth (sdt, m) and trophic status in the lakes studied. See Table 1 for the abbreviations of the trophic status.

Järvi <i>Lake</i>	1990–1994			1995–1999			2000–2002		
	<i>sdt</i>	<i>fixed</i>	<i>open</i>	<i>sdt</i>	<i>fixed</i>	<i>open</i>	<i>sdt</i>	<i>fixed</i>	<i>open</i>
Ahmasjärvi	0,4	HE	HE	0,5	HE	HE	0,4	HE	HE
Ahveninen	1,1	HE	E	1,3	HE	E	1,0	HE	HE
Enäjärvi	0,3	HE	HE	0,5	HE	E	0,7	HE	HE
Juoksjärvi	1,6	E	E	1,5	HE	E	1,2	HE	HE
Karhijärvi	0,8	HE	HE	0,8	HE	E	0,8	HE	HE
Kirkkojärvi (Rymättylä)	0,8	HE	HE	0,5	HE	HE	0,7	HE	HE
Kirmanjärvi	1,0	HE	HE	1,2	HE	E	1,1	HE	HE
Köyliönjärvi	0,6	HE	HE	0,6	HE	E	0,6	HE	HE
Lappajärvi	1,9	E	E	2,2	E	E	1,7	E	E
Lehijärvi	2,6	E	E	1,5	E	E	1,8	E	E
Pyhäjärvi (Säkylä)	3,2	M	M	1,1	HE	E	2,3	E	E
Pyhäjärvi (Tammela)	0,9	HE	HE	2,9	E	M	0,7	HE	HE
Pyhäjärvi (Artjärvi)	1,1	HE	E	1,0	HE	M	1,0	HE	HE
Sotkamojärvi	1,5	HE	E	1,6	E	E	1,2	HE	E
Sääskjärvi	0,6	HE	HE	0,4	HE	HE	0,3	HE	HE
Tiiläänjärvi	0,3	HE	HE	0,7	HE	HE	0,7	HE	HE
Ullavanjärvi	0,9	HE	HE	0,7	HE	HE	0,6	HE	HE
Villikkalanjärvi	0,4	HE	HE	0,4	HE	E	0,3	HE	HE
Ylisjärvi	0,3	HE	HE	0,3	HE	E	0,3	HE	HE

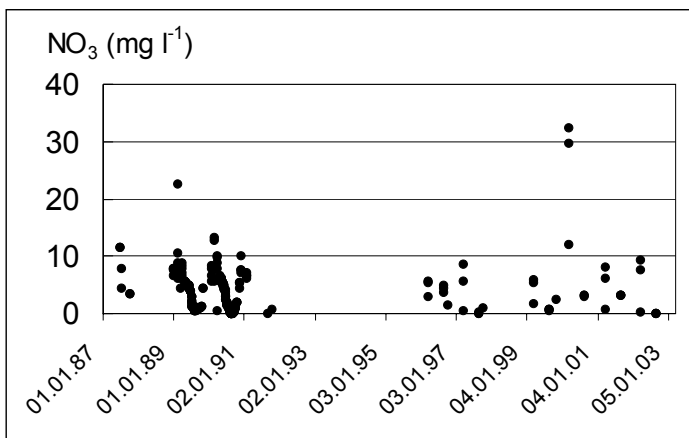
Taulukko 5. Järvien jakautuminen rehevyyssluokkiin OECD:n kiinteän luokituksen mukaan.

Table 5. Change in the trophic state of the lakes according to the OECD fixed classification.

	Kausi Years	Mesotrofinen <i>Mesotrophic</i>	Eutrofinen <i>Eutrophic</i>	Hyper-eutrofinen <i>Hyper-eutrophic</i>
Fosfori <i>Phosphorus</i>	1990–1994	6	8	5
	1995–1999*	6	6	6
	2000–2002	4	10	5
Klorofylli a <i>Chlorophyll a</i>	1990–1994	2	8	9
	1995–1999	1	5	13
	2000–2002	0	6	13
Näkösyvyys <i>Secchi depth</i>	1990–1994	1	3	15
	1995–1999	0	4	15
	2000–2002	0	3	16

* Pyhäjärvi (Tammela) puuttuu

* *Pyhäjärvi (Tammela) is missing*



Kuva 1. Villikkalanjärven nitraattipitoisuudet vuosina 1987–2002.

Concentration of nitrate in Lake Villikkalanjärvi during 1987-2002.

Taulukko 6. Järvien jakautuminen rehevyysluokkiin OECD:n avoimen luokituksen mukaan.

Table 6. Change in the trophic state of the lakes according to the OECD open classification.

	Kausi Years	Oligotrofinen <i>Oligotrophic</i>	Mesotrofinen <i>Mesotrophic</i>	Eutrofinen <i>Eutrophic</i>	Hyper- eutrofinen <i>Hyper- eutrophic</i>
Fosfori <i>Phosphorus</i>	1990–1994	3	8	7	1
	1995–1999*	0	6	10	2
	2000–2002	0	10	9	0
Klorofylli <i>a</i> <i>Chlorophyll a</i>	1990–1994	0	2	11	6
	1995–1999	0	2	12	5
	2000–2002	0	0	16	3
Näkösyvyys <i>Secchi depth</i>	1990–1994	0	1	6	12
	1995–1999	0	2	12	5
	2000–2002	0	0	4	15

* Pyhäjärvi (Tammela) puuttuu

* *Pyhäjärvi (Tammela) is missing*

Taulukko 7. Järvien nitraattipitoisuuksien maksimiarvot (mg l ⁻¹ NO ₃).			
<i>Table 7. Maximum concentrations of nitrate in the lakes (mg l⁻¹ NO₃).</i>			
Järvi Lake	1990–1994	1995–1999	2000–2002
Ahmasjärvi	2,83	4,03	3,28
Ahveninen	0,02		2,04
Enäjärvi	2,98	6,86	8,21
Juoksjärvi	0,19	2,66	3,28
Karhijärvi	0,11	2,83	2,92
Kirkkojärvi (Rymättylä)	4,07	4,87	4,40
Kirmanjärvi	2,26	1,77	1,68
Köyliönjärvi	5,76	7,53	21,30
Lappajärvi	1,27	1,28	1,46
Lehijärvi	4,38	5,31	13,70
Pusulanjärvi	0,36	6,44	11,10
Pyhäjärvi (Säkylä)	0,41	0,62	0,53
Pyhäjärvi (Tammela)	1,30		12,40
Pyhäjärvi (Artjärvi)	7,99	4,34	9,32
Sotkamojärvi	0,08	0,97	1,37
Sääskjärvi	2,35	5,31	0,00
Tiiläänjärvi	6,22	6,86	18,10
Ullavanjärvi		2,70	1,28
Villikkalanjärvi	22,60	8,66	32,30
Ylisjärvi	7,08	9,74	8,85

Johtopäätökset

Yleisesti ottaen maatalousjärvien rehevyystaso ei vuosina 1990–2002 ole vähentynyt. Joidenkin luokittelukriteerien perusteella havaittiin muutamassa järvessä positiivista kehitystä, mutta myös lisääntyvästä rehevyydestä saatiin merkkejä. Samankaltainen kehitys on havaittu myös joki- ja rannikkovesissä. Räike ym. (2003) selvittivät ravinnepitoisuustrendejä suomalaisissa joissa. Heidän mukaansa pienissä hajakuormitetuissa joissa pitoisuudet olivat pikemminkin nousussa kuin laskussa kaudella 1976–2000. Maatalouden voimakkaasti kuormittamalla Paimionlahdella ei ole havaittu ravinteiden tai

klorofylli *a*:n pitoisuudessa pienentymistä kaudella 1990–2000 (Vuoristo ym. 2002). Kauppila (2003) vertasi 19 suurimmaksi osaksi maatalouden kuormittaman eteläsuomalaisen estuaarin vedenlaatua kausilla 1989–1993 ja 1996–2000. Ravinteissa ei havaittu eroja kausien välillä, mutta klorofylli *a*:n keskipitoisuus oli jälkimmäisellä kaudella korkeampi ja happitilanne heikompi.

Granlund ym. (2004) tarkastelivat kahden maatalousvaltaisen valuma-alueen (Hovi, Savijoki) ja neljän maatalousjoen (Porvoonjoki, Vantaanjoki, Paimionjoki, Aurajoki) kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforivirtaamia vuosina 1996–2000 ja vertasivat näitä aiempien kausien ravinnevirtaamiin. Tutkimuksen mukaan merkkejä maatalouden kuormituksen alenemisesta ei ollut nähtävissä. Eräissä kohteissa havaittiin kaudella 1996–2000 jopa aiempaa suurempia ravinnevirtaamia, mikä osittain johtui suuremmista valumista. On siis loogista, että maatalouden kuormittamissa vesissä ei havaita merkkejä vedenlaadun paranemisesta, sillä maataloudesta peräisin oleva kuormitus ei ole vähentynyt. Kuormituksen pienennyttyäkin vaste järvissä lienee hidas. Tähän vaikuttaa yhtäältä monen järven korkea ravinnetaso ja toisaalta sisäinen kuormitus, mikä hidastaa ulkoisessa kuormituksessa tapahtuneita muutoksia.

Kirjallisuus

- Ekholm, P. & Mitikka, S. 2004. Agricultural lakes in Finland: Current water quality and trends. *Environmental Monitoring and Assessment*. Submitted.
- Ekholm, P., Rekolainen, S., Antikainen, S. & Grönroos, J. 1999. Country paper from Finland. In: van der Kraats, J.A. (ed.). *Fifth scientific and technical review of Euraqua. Farming without harming: The impact of agricultural pollution on water systems*. Lelystads. p. 45–56.
- Granlund, K., Räike, A., Ekholm, P., Rankinen, K. & Rekolainen, S. 2004. Assessment of water protection targets for agricultural nutrient loading in Finland. *Journal of Hydrology*. Submitted.
- Kauppila, P. 2003. Effects of environmental factors on trophic status in the estuarial waters of the northern and eastern Baltic Sea. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences* Submitted.
- Mitikka, S. & Ekholm, P. 2002. Lakes in the Finnish Eurowaternet: status and trends. *The Science of the Total Environment* 310: 37–45.
- Premazzi, C. & Chiaudani, G. 1992. Ecological quality of surface waters. Commission of the European communities. *Environment Quality of Life series*. 124 s.

Räike, A., Pietiläinen, O.-P., Rekolainen, S., Kauppila, P. Pitkänen, H., Niemi, J., Raateland, A. & Vuorenmaa, J. 2002. Trends of phosphorus, nitrogen and chlorophyll a concentrations in Finnish rivers and lakes in 1976–2000. *The Science of the Total Environment* 310: 47–59.

Vuoristo, H., Kauppila, P., Räike, A., Ekholm, P. Rekolainen, S., Niemi, J., Kiirikki, M. & Pitkänen, H. 2002. Vesien tila 1990–2000. Vesiensuojelun tavoiteohjelman väliarviointi. Suomen ympäristökeskuksen moniste 250. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 64 s.

Maatalouden ravinnekuormitus ja sen vesistövaikutukset – arviointi seuranta-aineistojen avulla

Ravinnekuormitus

Antti Räike, Kirsti Granlund ja Petri Ekholm

Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki, antti.raike@ymparisto.fi,
kirsti.granlund@ymparisto.fi, petri.ekholm@ymparisto.fi

Tiivistelmä

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää seuranta-aineistojen perusteella miten vuonna 1995 alkaneen maatalouden ympäristöohjelman toimenpiteet ovat vaikuttaneet maataloudesta peräisin olevaan ravinnekuormitukseen. Aineistona käytettiin kuuden maatalousvaltaisen joen ja kolmen pienen valuma-alueen vedenlaatu- ja virtaamadataa. Vuodet 1990–1994 muodostivat vertailujakson, vuodet 1995–1999 kuvasivat ensimmäistä tukikautta ja vuodet 2000–2002 toisen tukikauden alkuosaa.

Keskimääräiset ainekulkeumat laskettiin kokonaistypelle (TN), kokonaisfosforille (TP), liuenneelle kokonaisfosforille (DTP) ja fosfaattifosforille sekä joissa myös nitraatti- ja nitriittitypen sumalle (NO_x) ja kiintoaineelle. Joissa tarkasteltiin lisäksi aikasarja-analyysin avulla pitoisuuksissa ilmeneviä muutoksia.

Pienten valuma-alueiden aineiston perusteella näyttää siltä, että nykyisillä maataloustoimenpiteillä ei ole toistaiseksi saavutettu merkittävää vähenemistä ravinnekulkeumissa. Maatalouden ympäristöohjelman toimenpiteiden mahdollisia myönteisiä vaikutuksia oli havaittavissa jokien suodatetun kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin kulkeumissa. Sen sijaan Lapuanjoella nitraattityppikulkeuma oli voimakkaassa kasvussa.

Muutosten havaitsemista vaikeutti viimeisen tutkimusjakson (2000–2002) poikkeavat hydrologiset olosuhteet: vuonna 2000 virtaamat olivat esim. Saaristomereen laskevissa joissa 40 % pitkän ajan keskiarvoa korkeammalla tasolla, kun sen sijaan vuonna 2002 ne olivat lähes 30 % matalammalla tasolla.

Avainsanat: maatalous, ympäristö, ravinteet, kuormitus, vesistöt, typpi, fosfori, kiintoaines, vesianalyysi, vedenlaatu, aikasarja-analyysi, virtaama

Nutrient load from agricultural land and its effects in surface waters – evaluation based on monitoring data

Nutrient loading

Antti Räike, Kirsti Granlund and Petri Ekholm

Finnish Environment Institute, PL 140, 00251 Helsinki, antti.raike@ymparisto.fi, kirsti.granlund@ymparisto.fi, petri.ekholm@ymparisto.fi

Abstract

The aim of this study was to determine how the actions made under the agri-environmental programme, started in 1995, have affected nutrient leaching from agricultural land. The study was based on monitoring data of six rivers and three small catchments, where land use was dominated by agricultural activities. The years from 1990 to 1994 were used as a reference period, the years from 1995 to 1999 represented the first programme period and the years from 2000 to 2002 the beginning of the second programme period.

Mean material fluxes were calculated for total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), dissolved total phosphorus (DTP), and phosphate phosphorus. For rivers the fluxes of suspended solids, and the sum of nitrate nitrogen and nitrite nitrogen (NO_x) were also evaluated. In addition, trend analysis was used to reveal possible trends in concentrations in rivers.

The present agricultural mitigation methods have not lead to remarkable decrease in nutrient fluxes in small catchments. By contrast, the decrease in fluxes of DTP and phosphate phosphorus in rivers might indicate possible positive effects of the agricultural environment programme. However, fluxes of nitrate nitrogen were increasing drastically in the River Lapuanjoki.

The detection of changes was complicated by unexceptional hydrological conditions during the last study period (2000–2002). E.g. in 2000 the river flow was 40% higher than the long term mean flow in rivers draining into the Archipelago Sea, whereas in 2002 the river flow was nearly 30% lower than the long term mean flow.

Key word: agriculture, environment programme, nutrient loading, nitrogen, phosphorus, suspended solids, water quality, trend-analysis, flow

Johdanto

Maatalouden ravinnekuormituksen suuruuden arviointi Suomessa on suurelta osin perustunut pienillä maatalousvaltaisilla valuma-alueilla ja eräissä Itämereen laskevilla jokivesistöissä tehtyihin seurantatutkimuksiin (mm. Vuoremaa ym. 2002). Yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesien tehostunut käsittely on parantanut useiden pistekuormitettujen jokien vedenlaatua, mutta maatalousvaltaisten alueiden läpi virtaavien jokien tila ei ole muuttunut selkeästi parempaan suuntaan (Vuoristo ym. 2002). Rehevöitymiseen liittyviä ongelmia ilmenee jokien lisäksi myös rannikkovesissä ja merialueilla. Joet kuljettavat valtaosan Itämereen päätyvästä ravinnekuormasta ja siksi jokien ravinnevirtaamien vähentäminen on merialueidemme suojelun kannalta keskeisessä asemassa (HELCOM 2004).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää seuranta-aineistojen perusteella miten vuonna 1995 alkaneen maatalouden ympäristöohjelman toimenpiteet ovat vaikuttaneet maataloudesta peräisin olevaan ravinnekuormitukseen. Aineistona käytettiin kuuden maatalousvaltaisen joen ja kolmen pienen valuma-alueen vedenlaatu- ja virtaamadataa. Vuodet 1990–1994 muodostivat vertailujakson, vuodet 1995–1999 kuvasivat ensimmäistä tukikautta ja vuodet 2000–2002 toisen tukikauden alkuosaa.

Aineisto ja menetelmät

Joet: Aineistona käytettiin ympäristöhallinnon seurantahankkeiden vedenlaatu-, virtaama- ja pistekuormitustietoja. Muuttujina oli kokonaisfosfori (TP, sekä suodatettu että suodattamaton), fosfaattifosfori (PO_4P), kokonaistyyppi (TN), nitraatti- ja nitriittitypen summa (NO_xN) sekä kiintoaine (SS). Pistekuormittajien osalta oli käytettävissä kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforikuormitus. Virtaama-arvot olivat päivittäisiä ja vedenlaatumuuttujista oli pääsääntöisesti vähintään 12 vuotuista määritystä.

Järvet voivat pidättää tehokkaasti ravinteita ja kiintoainetta, ja siksi pelloilta tulevan huuhtouman vähentyminen näkyy yleensä selvimmin valuma-alueilla, joilla ei ole isoja järviä. Jotta maatalouden ympäristöohjelman mahdolliset vaikutukset erottuisivat selkeimmin, valittiin tutkimuskohteiksi jokia joiden valuma-alueella peltojen osuus ylitti 20% valuma-alueen pinta-alasta ja järviä oli vähän (Taulukko 1).

Pienet valuma-alueet: Aineistona käytettiin vedenlaatu- ja valumatietoja kolmelta pieneltä eteläsuomalaiselta maatalousvaltaiselta valuma-alueelta (Hovi, Savijoki ja Löytäneenoja). Hovi sijaitsee Karjaanjoen vesistöalueella, Savijoki Aurajoen vesistöalueella ja Löytäneenoja Kokemäenjoen vesistöalueella. Pienillä valuma-alueilla ei ole lainkaan ravinteita pidättäviä järviä, jo-

ten ne soveltuvat hyvin maataloudesta peräisin olevan ravinnehuuhtouman tarkasteluun. Pellon osuus maankäytöstä Hovin alueella oli 100%, Savijoella 39% ja Löytäneenojalla 68% (Taulukko 1). Keskimääräiset ainekulkeumat laskettiin kokonaistypelle (TN), kokonaisfosforille (TP) ja suodatetulle fosfaattifosforille (DRP). Laskettu ravinnekulkeuma edusti koko valuma-alueelta tulevaa kuormaa, joten Savijoen ja Löytäneenojan aineistoissa oli mukana myös metsäalueiden kuormitus. Se on kuitenkin vähäinen maatalouden kuormitukseen verrattuna näillä alueilla.

Taulukko 1. Valuma-alueiden pinta-alat ja eri maankäyttömuotojen suhteelliset osuudet.

Table 1. Catchment areas and proportions of different land use categories.

Joki	Pinta-ala (km ²)	Peltoa %	Metsää %	Suota %	Järviä %	Muuta %
Porvoonjoki	1273	31,6	53,7	3,1	2,1	9,5
Vantaanjoki	1686	25,0	51,0	6,0	3,1	15,0
Uskelanjoki	566	42,7	46,2	3,2	1,3	6,7
Paimionjoki	1088	42,1	45,0	4,0	2,7	6,2
Aurajoki	874	35,0	43,5	9,0	1,5	11,0
Lapuanjoki	4122	22,8	45,9	21,5	2,8	7,0
Hovi	0,12	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Löytäneenoja	5,6	68,0	30,0	2,0	0,0	n. 0
Savijoki	15,4	39,0	54,0	7,0	0,0	n. 0

Muutosten tilastolliseen todentamiseen jokien pitoisuuksissa käytettiin Seasonal Kendall –aikasarja-analyysiä (Hirsch ym. 1982). Koska hydrologiset olosuhteet vaikuttavat keskeisesti vesistöihin huuhtoutuvan ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien määriin, poistettiin virtaaman vaihtelun aiheuttama muutos pitoisuuksissa mallintamalla ensin virtaaman ja pitoisuuden välinen yhteys (lineaarinen regressioanalyysi) ja testaamalla residuaalit (eli muutos mitä ei voi selittää virtaaman muutoksella) aikasarja-analyysillä (Hirsch ym. 1982, 1991). Vuotuisten virtaamavaihteluiden aiheuttama vaikutus ainekulkeumissa tasattiin tarkastelemalla aineistoa viiden vuoden jaksoissa. Viimeinen jakso käsitti kolme vuotta (2000–2002).

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Pistemäinen ravinnekuormitus vähentyi tai pysyi muuttumattomana vuosina 1990–2002 lukuun ottamatta Uskelanjokea, jossa typpi- ja fosforikuormitus lisääntyi selvästi viimeisellä jaksolla (Taulukko 2). Koska teollisuuden ja yhdyskuntien jätevesistä poistetaan tehokkaasti fosforia, on pistemäisen typ-pikuormituksen suhteellinen osuus kokonaiskuormituksesta suurempi kuin fosforikuormituksen. Pistekuormituksen osuus jokien kokonaisainekulkeumista oli suurin Porvoon- ja Vantaanjoella. Porvoonjoella lähes 24–30 % typen kulkeumasta oli peräisin pistekuormituksesta ja vastaavasti fosforin kulkeumasta hieman yli 10% (Taulukko 2). Muissa kuin Porvoon- ja Vantaanjoessa osuudet jäivät yleensä alle 10 %:in typpikulkeumasta ja alle 5 %:in fosforikulkeumasta. Osuuksia laskettaessa ei ole huomioitu ravinteiden pidättymistä vesistöissä. Järvien vähäisen määrän takia pidättyminen on kuitenkin tutkimuksen kohteena olevilla valuma-alueilla vuositasolla luultavasti vähäistä.

Ravinne- ja kiintoainepitoisuudet olivat tutkimusjoissa huomattavasti korkeammat kuin keskimäärin Suomen suurimmissa joissa (Taulukko 3, Pietiläinen & Räike 1999). Korkeimmat kokonaisfosfori-, fosfaattifosfori- ja kiintoainepitoisuudet havaittiin Lounais-Suomen joissa ja vastaavasti korkeimmat kokonaistyppi- ja nitraattityppipitoisuudet Porvoonjoessa ja Vantaanjoessa. Alhaisimmat pitoisuudet olivat suodatettua kokonaisfosforia lukuun ottamatta Lapuanjoella.

Virtaamalla oli selkein positiivinen suhde kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuksiin (Taulukko 4). Kokonaistyppi ja nitraattityppi korreloivat vahvemmin virtaaman kanssa vain Lapuanjoella. Jos jokiin tulee runsaasti piste-kuormitusta, saattaa virtaaman lisääntyminen aiheuttaa joessa olevien ravinne-pitoisuuksien alenemisen. Tämä ilmeni Porvoonjoella, missä kokonaistyp-ellä ja nitraattitypellä oli negatiivinen suhde virtaamaan.

Taulukko 2. Jokien pistemäinen typpi- ja fosforikuormitus sekä niiden suhteelliset osuudet kulkeumasta.

Table 2. Point source loading of nitrogen and phosphorus into the six rivers and the proportion of point sources of nutrient fluxes.

Joki	Jakso	Pistekuormitus		Suhteellinen osuus	
		TN (kg/km ² /a)	TP (kg/km ² /a)	TN %	TP %
Porvoonjoki	1990-1994	338	5,4	28,0	13,1
Porvoonjoki	1995-1999	311	5,1	30,4	12,2
Porvoonjoki	2000-2002	256	3,8	24,0	10,7
Vantaanjoki	1990-1994	154	2,9	18,9	8,6
Vantaanjoki	1995-1999	130	2,4	16,7	5,9
Vantaanjoki	2000-2002	113	2,3	13,3	6,0
Uskelanjoki	1990-1994	63	2,3	6,2	2,6
Uskelanjoki	1995-1999	57	2,0	4,9	1,9
Uskelanjoki	2000-2002	81	3,1	9,1	3,3
Paimionjoki	1990-1994	36	0,9	3,9	1,2
Paimionjoki	1995-1999	31	0,7	3,4	0,9
Paimionjoki	2000-2002	36	0,5	4,2	0,7
Aurajoki	1990-1994	15	0,5	1,8	0,7
Aurajoki	1995-1999	14	0,5	1,6	0,7
Aurajoki	2000-2002	13	0,4	1,6	0,5
Lapuanjoki	1990-1994	39	1,3	8,2	4,5
Lapuanjoki	1995-1999	35	0,9	8,2	5,4
Lapuanjoki	2000-2002	44	0,6	7,1	3,0

Taulukko 3. Ravinteiden ja kiintoaineen mediaanipitoisuudet joissa 1990–2002.

Table 3. Median concentrations of nutrients and suspended solids in rivers in 1990–2002.

Joki	TP µg L ⁻¹	TP (suod.) µg L ⁻¹	PO ₄ -P µg L ⁻¹	TN µg L ⁻¹	NO _x -N µg L ⁻¹	SS mg L ⁻¹
Porvoonjoki	110	37	59	3500	2700	36
Vantaanjoki	88	23	40	2400	1610	41
Uskelanjoki	150	33	90	2000	1200	90
Paimionjoki	180	39	110	2300	1400	110
Aurajoki	160	38	90	2200	1300	66
Lapuanjoki	78	24	36	1700	670	15

Taulukko 4. Pitoisuuksien ja virtaaman välinen riippuvuus joissa (korrelaatiot).

Table 4. The correlation coefficients between concentrations and river flow in rivers.

Joki	TP	TP (suod.)	PO ₄ -P	TN	NO _x -N	SS
Porvoonjoki	0,56	-0,03	0,39	-0,21	-0,25	0,62
Vantaanjoki	0,63	0,33	0,61	0,20	0,13	0,68
Uskelanjoki	0,64	0,38	0,71	0,29	0,18	0,61
Paimionjoki	0,43	0,36	0,39	0,23	0,20	0,51
Aurajoki	0,56	0,34	0,56	0,26	0,27	0,57
Lapuanjoki	0,40	-0,02	0,33	0,55	0,56	0,62

Vuotuisissa virtaamissa ei ollut havaittavissa tilastollisesti merkitsevää muutosta vuosina 1990–2002 (Taulukko 5). Jaksolla 2000–2002 valumat olivat Porvoonjoessa ja Uskelanjoessa hieman alhaisemmalla tasolla kuin kahdella edeltävällä jaksolla, kun sen sijaan Aurajoessa ja Lapuanjoessa virtaamat olivat runsaampia viimeisellä tarkastelujaksolla (Liite 1). Vuosien välillä oli suuria eroja virtaamissa: vuosi 2000 oli sateinen ja aiheutti selkeät virtaamahuiput etenkin Lounais-Suomen joissa, kun sen sijaan vuosi 2002 oli erittäin vähäsateinen ja virtaamat olivat alhaisia.

Aikasarja-analyysin mukaan kokonaisfosforipitoisuus laski vuosina 1990–2002 Lapuanjoella ja virtaaman suhteen normalisoidussa aineistossa lisäksi Aurajoella, jossa myös suodatetun kokonaisfosforin trendi oli aleneva (Taulukko 5 ja Kuva 1). Kokonaisfosforin kulkeumat olivat Lapuanjoella viimeisellä tutkimusjaksolla alhaisemmalla tasolla kuin ensimmäisellä jaksolla, vaikka valuma oli korkeampi (Liite 1). Myös Aurajoella oli havaittavissa hienoista laskua viimeisen tutkimusjakson aikana. Vantaanjoella suuntaus oli sen sijaan ylöspäin. Pienistä valuma-alueista Hovin kokonaisfosforikulkeuma oli selvästi suurin viimeisellä tutkimusjaksolla, mikä kuitenkin selittyy pääosin valuman lisääntymisestä. Savijoella valuman hienoisesta laskusta huolimatta fosforikulkeuma kasvoi viimeisellä jaksolla verrattuna edelliseen jaksoon (Liite 1).

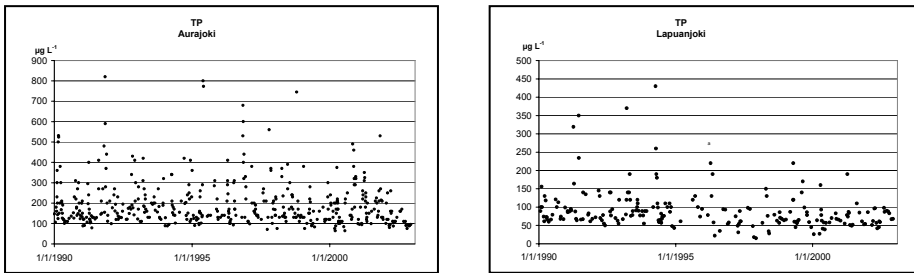
Suodatetun kokonaisfosforin pitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia, mutta kulkeumissa oli havaittavissa kaikilla joilla Paimionjokea ja Lapuanjokea lukuun ottamatta aleneva trendi, mikä tosin pääosin selittyy Porvoonjoella ja Uskelanjoella valuman alenemisella (Liite 2).

Taulukko 5. Seasonal Kendall –testin antamat tulokset virtaaman ja pitoisuuksien muutoksista 1990–2002 (0 = ei muutosta, + = nouseva trendi, - = laskeva trendi).

Table 5. Statistically significant (Seasonal Kendall test) trends of river flow and concentrations in 1990–2002 (0 = no change, + = increasing trend, -= decreasing trend).

	Ei normalisoitu		Normalisoitu		Ei normalisoitu		Normalisoitu		Ei normalisoitu		Normalisoitu	
	TP	Suuruus $\mu\text{g L}^{-1} \text{a}^{-1}$	TP	Suuruus $\mu\text{g L}^{-1} \text{a}^{-1}$	TP (suod)	Suuruus $\mu\text{g L}^{-1} \text{a}^{-1}$	TP (suod)	Suuruus $\mu\text{g L}^{-1} \text{a}^{-1}$	PO ₄ -P	Suuruus $\mu\text{g L}^{-1} \text{a}^{-1}$	PO ₄ -P	Suuruus $\mu\text{g L}^{-1} \text{a}^{-1}$
Porvoonjoki	0		0		0		0		0		0	
Vantaanjoki	0		0		0		0		0		0	
Uskelanjoki	0		0		0		0		0		0	
Paimionjoki	0		0		0		0		0		0	
Aurajoki	0		--	-2.73	0		--	0.77	0		0	
Lapuanjoki	---	-1.89	---	-2.19	0		0		0		0	
	Ei normalisoitu		Normalisoitu		Ei normalisoitu		Normalisoitu		Ei normalisoitu		Normalisoitu	
	TN	Suuruus $\mu\text{g L}^{-1} \text{a}^{-1}$	TN	Suuruus $\mu\text{g L}^{-1} \text{a}^{-1}$	NO _x -N	Suuruus $\mu\text{g L}^{-1} \text{a}^{-1}$	NO _x -N	Suuruus $\mu\text{g L}^{-1} \text{a}^{-1}$	SS	Suuruus $\text{mg L}^{-1} \text{a}^{-1}$	SS	Suuruus $\text{mg L}^{-1} \text{a}^{-1}$
Porvoonjoki	0		0		0		0		0		0	
Vantaanjoki	0		0		0		0		0		0	
Uskelanjoki	0		0		0		0		0		0	
Paimionjoki	0		0		0		0		0		0	
Aurajoki	--	-49.4	----	-59.1	0		0		0		0	
Lapuanjoki	0		0		+++	27.5	+++	22.6	0		0	
Virtaama		Suuruus $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$										
Porvoonjoki	0											
Vantaanjoki	0											
Uskelanjoki	0											
Paimionjoki	0											
Aurajoki	0											
Lapuanjoki	0											

---, +++ = $p < 0.001$
 --, ++ = $p < 0.01$



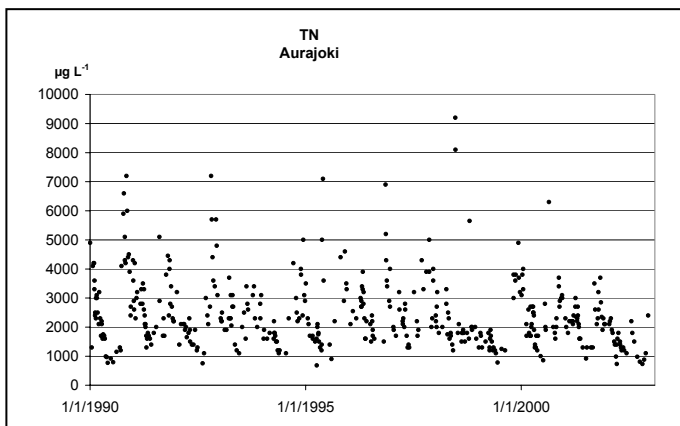
Kuva 1. Kokonaisfosforipitoisuus Aurajoella ja Lapuanjoella vuosina 1990–2002.

Figure 1. Mean total phosphorus concentration in the Rivers Aurajoki and Lapuanjoki in 1990–2002.

Fosfaattifosforipitoisuuksissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta millään tutkimusjoella. Fosfaattifosforin kulkeumat noudattivat pitkälti suodatetun kokonaisfosforin trendiä (Liite 3). Kulkeuman vähentyminen ei kuitenkaan ollut niin selkeää

Kokonaistyyppipitoisuus oli lievässä laskussa Aurajoella (Taulukko 5 ja Kuva 2). Muilla joilla ei havaittu muutoksia. Kokonaistyyppikulkeuma laski hieman viimeisen jakson aikana Aurajoella ja kasvoi Vantaanjoella, Porvoonjoella ja

Lapuanjoella (Liite 4). Pienistä valuma-alueista Hovin kokonaistyyppikulkeuma, vastaavasti kuin kokonaisfosforikulkeuma, kasvoi samanaikaisesti virtaaman kanssa viimeisellä tutkimusjaksolla. Savijoella kokonaistyyppikulkeuma oli suurin vuosina 1995–1999 ja laski hieman viimeisen jakson aikana (Liite 4).

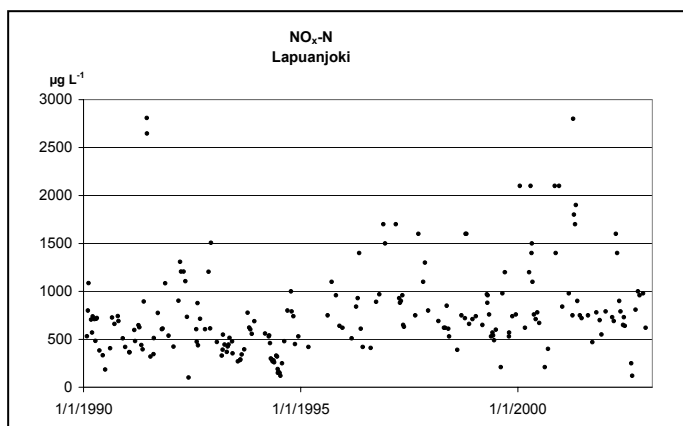


Kuva 2. Kokonaistyyppipitoisuus Aurajoella vuosina 1990–2002.

Figure 2. Total nitrogen concentration in the River Aurajoki in 1990–2002.

Nitraattityypipitoisuus kasvoi voimakkaasti Lapuanjoella (Taulukko 5 ja Kuva 3), mikä on havaittu myös muillakin Pohjanmaan joilla (Räike ym. 2003). Nitraattitypen kulkeuma oli nousussa Lapuanjoen lisäksi myös Porvoonjoella ja Vantaanjoella (Liite 5). Paimionjoella ja Aurajoella oli sen sijaan havaittavissa hienoista laskua.

Kiintoainepitoisuuksissa ei ollut havaittavissa tilastollisesti merkitsevää muutosta vuosina 1990–2002. Usealla joella kiintoainekulkeumat olivat korkeimmillaan keskimmaisella jaksolla ja laskivat viimeisen jakson aikana. Viimeisen jakson aikana Lapuanjoen kiintoainekulkeuma nousi, mikä johtui pääosin valuman kasvusta (Liite 6).



Kuva 3. Nitraattityypipitoisuus Lapuanjoella vuosina 1990–2002.

Figure 3. Nitrate nitrogen concentration in the River Lapuanjoki in 1990–2002.

Johtopäätökset

Tutkimusjakso oli suhteellisen lyhyt maataloudesta vesiin tulevien ainevirtaamien muutoksien havaitsemiseen. Virtaaman suhteen normalisoiduissa jokivesipitoisuuksissa havaittiin vain muutamassa tapauksessa tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Selkein muutos oli nitraattityypipitoisuuden nousu Lapuanjoella. Maatalouden ravinnekuormituksen kehittymistä on vaikea arvioida, koska muutokset ovat hitaita ja ravinteiden kulkeutumiseen vaikuttavat mekanismit riippuvat voimakkaasti mm. säätilasta (Vuorenmaa ym. 2002) ja maataloustoimenpiteiden vuosittaisesta vaihtelusta. Maaperä sitoo ravinteita, ja fosforia ja typpeä voi huuhtoutua runsaasti vesiin vuosien tai jopa vuosikymmenten ajan lannoituksessa tapahtuneiden muutosten jälkeen (Grimvall ym. 2000, Vagstad ym. 2001).

Pienten valuma-alueiden aineiston perusteella näyttää siltä, että nykyisillä maataloustoimenpiteillä ei ole toistaiseksi saavutettu merkittävää vähenemistä ravinnekulkeumissa. Sen sijaan joissa maatalouden ympäristöohjelman toimenpiteiden mahdollisia myönteisiä vaikutuksia oli havaittavissa suodattun kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin kulkeumissa. Muutosten havaitsemista vaikeutti viimeisen tutkimusjakson (2000–2002) poikkeavat hydrologiset olosuhteet: vuonna 2000 virtaamat olivat esim. Saaristomereen laskevissa joissa 40 % pitkän ajan keskiarvoa korkeammalla tasolla, kun sen sijaan vuonna 2002 ne olivat lähes 30 % matalammalla tasolla.

Kirjallisuus

- Grimvall, A., Stålnacke P. & Tonderski A. 2000. Time scales of nutrient losses from and to sea — a European perspective. *Ecological Engineering* 14: 363-371.
- HELCOM 2004. The Fourth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-4). *Baltic Sea Environmental Proceeding* 93:188 s.
- Hirsch R.M., Alexander R.B., Smith R.A. 1991. Selection of methods for the detection and estimation of trends in water quality. *Water Resources Research* 27: 803-813.
- Hirsch R.M., Slack J.R, Smith R.A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18: 107-121.
- Pietiläinen, O.-P. & Räike, A. 1999. Typpi ja fosfori Suomen sisävesien minimiravinteina. *Suomen ympäristö* 313. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 57 s.
- Räike, A., Pietiläinen, O.-P., Rekolainen, S., Kauppila, P., Pitkänen, H., Niemi, J., Raateland, A. & Vuorenmaa, J. 2003. Trends of phosphorus, nitrogen and chlorophyll *a* concentrations in Finnish rivers and lakes in 1975 –2000. *The Science of The Total Environment* 310: 47-59.
- Vagstad N., Stålnacke P., Estrup Andersen H., Deelstra J., Gustafsson A., Itälä, A., Jansons V., Kyllmar K., Loigu E., Rekolainen S., Tumas R. & Vuorenmaa, J. 2001. Nutrient losses from agriculture in the Nordic and Baltic countries: measurements in small agricultural catchments and national agro-environmental statistics. *Nordic Council of Ministers, Copenhagen, TemaNord* 591, 74 s.
- Vuorenmaa J., Rekolainen S., Lepistö A., Kenttämies K. & Kauppila P. 2002. Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s. *Environmental Monitoring and Assessment* 76: 21-248.

Vuoristo, H., Kauppila, P., Räike, A., Ekholm, P., Rekolainen, S., Niemi, J., Kiirikki, M. & Pitkänen, H. 2002. Vesien tila 1990 –2002. Vesiensuojelun tavoiteohjelman väliarviointi. Suomen ympäristökeskuksen moniste 250. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 61 s.

Sektoritason analyysi maatalouspolitiikkavaihtoehtojen ravinnekuormituspotentiaalista

Heikki Lehtonen ja Jussi Lankoski

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki, heikki.lehtonen@mtt.fi, jussi.lankoski@mtt.fi

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa arvioidaan maatalouspolitiikan tulevien muutosten merkitystä maatalouden ravinnekuormituksen vähentäjänä. Maatalouspolitiikalla on vaikutusta maatalouden tuotteiden ja panosten hintoihin ja yleensä viljelijöiden tuotantotapoihin ja tuotantomotivaatioon. Maataloustuotannon ja ravinnekuormituspotentiaalin kehitystä arvioidaan taloudellisen mallin avulla joka kuvaa maataloustuotannon muutoksia eri politiikkavaihtoehtoilla. Käytetty taloudellinen malli, joka olettaa rationaalisen taloudellisen käyttäytymisen, sisältää maatalouden päätuotteet 18 eri tuotantoalueella Suomessa. Malli ottaa huomioon tuotannon investoinnit työtä säästäviin ja taloudellisesti tehokkaampiin tuotantojärjestelmiin erityisesti maidontuotannossa. Koska tilakoko on Suomessa suhteellisen pieni ja tuotantokustannukset korkeat luonnonolosuhteista johtuen, maataloustuotanto voi vähentyä merkittävästi monilla alueilla, mutta lisääntyä toisilla. Kesannon ala tulee tuen irrottamisen seurauksena todennäköisesti kasvamaan, ja maidon- ja lihantuotannon määrät vähenemään jos maidon hinta alenee merkittävästi. Pellonkäytön, eläinmääräen ja panoskäytön muutosten perusteella lasketaan hehtaarikohtaiset ravinnetaset jotka kuvaavat maatalousmaan ravinnekuormituspotentiaalia. Tuotannon väheneminen ei kuitenkaan vähennä käytössä olevan viljelysmaan ravinneylijäämiä, koska tuotanto tulee keskittymään alueellisesti. Typen tase alenee lievästi tuotehintojen alenemisen seurauksena, mutta fosforin tase nousee tuotannon alueellisen keskittymisen vuoksi.

Avainsanat: maatalous, ympäristö, mallintaminen, mallit, maatalouden sektorimalli, maatalouspolitiikka, uudistukset, ravinteet, typpi, fosfori, maataloustuotanto, kustannukset, valunta

Alternative agricultural policy reforms: sector level modelling of potential nutrient loads

Heikki Lehtonen and Jussi Lankoski

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki, heikki.lehtonen@mtt.fi, jussi.lankoski@mtt.fi

Abstract

This study analyses the role of agricultural policy in reducing nutrient loads from Finnish agriculture. Reduction in nutrient load potential is quantified through nutrient balance per ha of cultivated land, i.e. by calculating the difference between nitrogen and phosphorus inputs and outputs per ha of cultivated land. Agricultural policy affects prices of agricultural products and inputs, as well as incentives to produce through production linked subsidies. Impacts of 5 different agricultural policy scenarios on agricultural production and on the resulting nutrient balances are evaluated using an economic agricultural sector model. The model includes 18 production regions in Finland. Investment in different production techniques depends on the relative profitability and the spread of each technique in the population of heterogeneous farms. There are relatively few large farms which use efficient production techniques in Finland. De-coupling agricultural support from production, as well as the reduction of milk prices, weakens the incentive for dairy investments and production. Considering the high production costs and the dominance of small scale farms in the Finnish dairy farm structure, one can expect that de-coupling and low milk prices are likely to result in a significant drop in milk and beef production in the 10-20 year period. Set-aside is likely to increase and the area under grass decrease in Finland. However, only little reduction in nitrogen surplus can be expected on cultivated area after 2005. Phosphorus surplus may even increase on cultivated area after 2005 because of concentration of production on certain areas. Hence the agricultural policy changes cannot be expected to reduce nutrient loads significantly.

Key words: agricultural sector model, policy reform, nitrogen, phosphorus, nutrient runoffs

Johdanto

Vesien suojeleminen vuoteen 2005-ohjelmassa on esitetty viralliset tavoitteet maatalouden vesistökuormituksen vähentämiseksi. Tavoitteena on typpi- ja fosforikuormituksen puolittaminen vuodesta 1993 vuoteen 2005. Maatalouden ympäristötukiohjelmat 1995-1999 ja 2000-2006 ovat keskeisessä roolissa näiden tavoitteiden saavuttamisessa. Tämän tutkimusosion ensimmäisenä tavoitteena on analysoida maataloussektorin kuormituspotentiaalia ja sen muutoksia vuodesta 1995 vuoteen 2005. EU:n yhteisen maatalouspolitiikan reformi Agenda 2000 toimii analyysin pohjana ja mallitarkastelun avulla pyritään ennustamaan missä määrin kuormituspotentiaali muuttuu vuosien 1995-2005 aikana.

Lisäksi tässä tutkimusosiossa analysoidaan viiden maatalouspolitiikkavaihtoehdon vaikutuksia kuormituspotentiaaliin aikavälillä 1995-2020. Perusskenaariona (status quo) on Agenda 2000 –sopimus. MTR (Mid Term Review eli yhteisen maatalouspolitiikan välitarkistus) on EU:n komission esitys yhteisen maatalouspolitiikan uudistamiseksi tammikuussa 2003, INTEGRA on integroitu maatalous-, ympäristö- ja maaseutupolitiikka, jossa maataloustuen painopistettä siirretään hintatuesta ja tuotantoon sidotusta tuesta ympäristö- ja maaseutuhyödykkeiden tuotannon tukemiseen. Kesäkuussa 2003 EU:n maatalousministerit sopivat EU:n maatalouspolitiikan uudistuksesta. Tästä vaihtoehdosta tehtiin kaksi skenaariota (CAPREF22 ja CAPREF16) tulevasta maidon hinnasta EU-tasolla.

Tutkimusosiossa sovelletaan MTT Taloustutkimuksessa kehitettyä Suomen maatalouden alueellista sektorimallia (DREMFIJA). Kuormituspotentiaalimittarina käytetään tukialuekohtaisesti laskettuja ravinnetaseita tyypelle ja fosforille. Ravinnetaseen ylijäämäisyys osoittaa, että ravinteita jää käyttämättä maatalouden tuotantoprosessissa ja nämä ylijäämävaihteet muodostavat siten mahdollisen ravinnekuormituksen alueellisiin vesistöihin. Ravinnetaseen alijäämäisyys taas osoittaa, että tuotantoon sitoutuu enemmän ravinteita kuin mitä tuotantopanoksissa on prosessiin tuotu. Tavanomaisessa viljelyssä ravinnetaseet kuitenkin useimmiten ovat ylijäämäisiä ja siten kertovat mahdollisesta ravinnekuormituspotentiaalista, mutta eivät kuitenkaan osoita tarkasti ravinnevalumien määrää tai niiden vaikutusta alueellisissa vesistöissä. Näin ollen ravinnetaseet tulisi aina laatia lohko-kohtaisesti ja niitä tulisi täydentää spatiaalisella tarkastelulla (lohkojen sijainti ja etäisyys vesistöistä, maatalaji, lohkojen kaltevuus, ojitus, valunta sekä läheisen vesistön kemiallinen ja ekologinen tila). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan voida mennä lohkokotasolle asti vaan joudumme pitäytymään tukialuekohtaisessa tarkastelussa, mutta sekin on suuntaa antava kuormituspotentiaalimalli ja sen muutoksen osoittamisessa. Sektoritason taloudelliseen malliin pohjautuva tarkastelu antaa toisaalta mahdollisuuden analysoida taloudellisten suhteiden ja rationaalisen

taloudellisen käyttäytymisen aiheuttamia todennäköisiä muutoksia viljelysmaan ja tuotantopanosten käytössä ja niiden vaikutuksia ravinnetaseeseen ja sitä kautta kuormituspotentiaaliin.

Seuraavaksi kuvataan lyhyesti maatalouden alueellisen sektorimallin rakenne ja keskeiset oletukset. Tämän jälkeen esitetään ravinnetaseiden laskentamenetelmä ja sitten raportoidaan maataloussektorin kuormituspotentiaali ja sen muutokset vuodesta 1995 vuoteen 2005 eli tarkastellaan vesiensuojelun tavoiteohjelman toteutumiseen liittyviä tuloksia (sekä koko maan tasolla että tukialuekohtaisesti). Seuraavaksi analysoidaan kolmen erilaisen maatalouspoliittisen vaihtoehdon (Agenda 2000, MTR, ja integroitu maatalous-, ympäristö-, ja maaseutupolitiikka) kuormituspotentiaalia vuodesta 1995 vuoteen 2020.

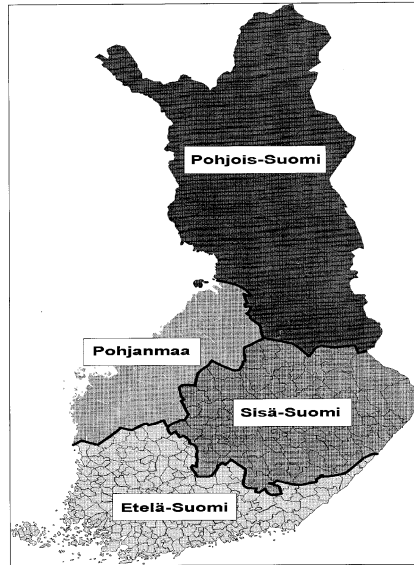
Aineisto ja menetelmät

Maatalouden alueellinen sektorimalli

Arvio kuormituspotentiaalın muutoksesta perustuu maatalouden alueelliseen sektorimalliin (DREMFIA; Lehtonen 2001, 1998), joka simuloi maatalous-tuotantoa alueittain vuodesta 1995 vuoteen 2020. Mallissa on mukana perusmaatalous eli tärkeimmät viljelykasvit sekä maidontuotanto, naudan-, sian- ja siipikarjanlihan tuotanto sekä kananmunantuotanto. Viljelykasveja ovat vehnä, ruis, ohra, mallasohra, kaura, sekavilja, tärkkelysperuna, ruokaperuna, sokerijuurikas, öljykasvit, säilörehu, laidunrehu, kuivaheinä ja herne. Vaihtoehtoina varsinaiselle viljelylle ovat avokesanto ja viherkesanto. Tukipolitiikka on mallissa mukana alueittain hyvin yksityiskohtaisesti.

DREMFIA-mallin perusrakenne

DREMFIA-mallissa on neljä pääaluetta, Etelä-Suomi, Sisä-Suomi, Pohjanmaa ja Pohjois-Suomi (Kuva 1). Nämä alueet jakautuvat edelleen pienempiin tuotannollisiin alueisiin tukivyyhykejaon mukaisesti. Kaikkiaan mallissa on 18 tuotannollista aluetta. Kulutus ja eläinten ruokinta määräytyy suuralueittain. Tuotteet voivat liikkua suuralueiden välillä tietyin kuljetuskustannuksin.

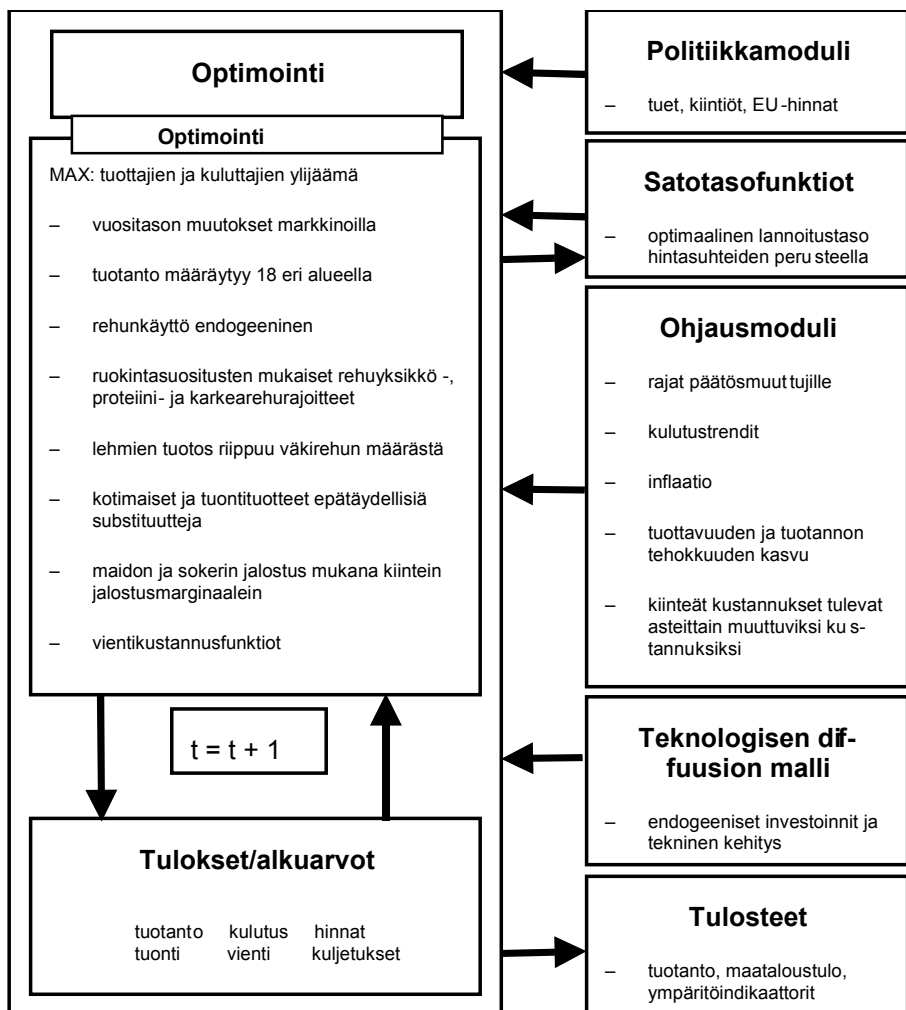


Kuva 1. Suuraluejako DREMFIAn mallissa.

Figure 1. Main regions in DREMFIAn model.

DREMFIAn mallin perusrakenne on esitetty kuvassa 2. Mallin ytimenä on (1) teknologisen diffuusion malli joka kuvaa investointeja eri tuotantotekniikoihin sekä (2) täydellisen kilpailun markkinoita simuloiva optimointimalli joka maksimoi tuottajien ja kuluttajien ylijäämää. Oletuksena on taloudellisesti rationaalinen toiminta, ts. eri kasvien pinta-aloja, eläinten lukumääriä sekä pellonkäyttöä ja panoskäyttöä muutetaan mallissa paremman taloudellisen tuloksen saavuttamiseksi. Näin tehden optimointimalli simuloi maataloustuotteiden tarjontaa, kysyntää ja ulkomaankauppaa käyttäen edellisen vuoden markkinatilannetta alkuarvoina tuotantoa, kulutusta ja ulkomaankauppaa kuvaaville muuttujille. Lyhyellä aikavälillä tuotanto voi muuttua vain tehtyjen investointien eli kiinteiden tuotannontekijöiden ja esim. biologisten lainalaisuuksien sallimissa rajoissa. DREMFIAn malli kuvaa maatalouden asteittaista sopeutumista, ts. hidasta hakeutumista kohti taloudellista tasapainoa muuttuvassa toimintaympäristössä maatalouden sisäisten rajoitteiden ja lainalaisuuksien puitteissa. (Lehtonen 2001).

Eläinten ruokintaa sitovat rehuyksikkö- valkuaisaine ja karkearehurojoitteet, joista aiheutuu epälineaarisia rajoitteita mallin taseyhtälöihin (yhtälöihin joissa varmistetaan että tarjonta on vähintään yhtä suuri kuin kysyntä). Koska rehunkäytön muutoksen nopeutta rajoittavat sekä biologiset lainalaisuudet että tekniset syyt, ts. rehuntuotantoketjun ja ruokinnan koneistuksen taloudellinen käyttöikä, kunkin rehuaineen käyttö voi muuttua mallissa vain 5-10 % vuodessa. Jo 5 vuodessa voi kuitenkin tapahtua suuria muutoksia ruokinnassa.



Kuva 2. DREMFA-mallin perusrakenne.

Figure 2. Structure of the DREMFA –model.

Lypsylehmien ruokinnassa on mallinnettu tuotostason riippuvuus väkirehun määrästä. Tässä on käytetty kvadraattista tuotantofunktiota, joka näyttäisi sopivan hyvin empiiriseen ruokintakoeaineistoon. Funktion skalaaritermin avulla funktio on sovitettu keskimääräisen ruokinnan ja maitotuotoksen tasolle. Skalaaritermin avulla on myös otettu huomioon geneettisen tuotantopotentiaalın nousu ajan funktiona. Nousuksi on oletettu lineaarisesti runsaat 120 kiloa vuodessa, jonka lisäksi siirtyminen väkirehuvaltaisempaan ruokintaan nostaa keskituotosta aluksi muutamilla kymmenillä kiloilla vuosittain. Geneettisen tuotantopotentiaalın on oletettu kasvavan myös emakoilla ja kanoilla. Emakkojen keskiporsastuotoksen oletetaan kasvavan noin 0,24 porsasta emakkoa kohti vuodessa ja kanojen keskimunatuotoksen 0,24 kg/kana/vuosi.

Erillisiä tuotantofunktioita ei sioille ja siipikarjalle ole mallinnettu, vaan tuotoksen oletetaan olevan ruokinnasta riippumaton, edellyttäen että ruokintasuositusten mukaiset rehuyksikkö- ja proteiinimäärät täyttyvät. Eläinten keskituotokset ja niiden kasvua on kalibroitu tuotosten todellista kehitystä 1995-2002 vastaavalle tasolle.

Lannoitus voi muuttua paljonkin lyhyellä aikavälillä mikäli se on hintasuhteiden mukaan taloudellisesti edullista. DREMFIA-mallissa optimaalinen lannoitustaso lasketaan edellisvuoden tuotehintojen (tai interventiohintojen, jos kyseisenä vuonna on hintoihin vaikuttava politiikkamuutos) ja eksogeenisesti annettujen lannoitteiden hintojen sekä erillisten satotasofunktioiden perusteella. Optimaalinen lannoitus- ja satotaso määritetään lannoitteiden ja kasvituotteiden hintasuhteiden perusteella käyttäen empiirisessä tutkimuksessa hyviksi todettuja satotasofunktioita (Heikkilä 1980, Kleemola 1988, Bäckman et.al. 1997). Trendinomainen satotason nousu on oletettu nollassa, toisin sanoen lannoituksesta riippumatonta satotason nousua ei oleteta.

Keskeiset oletukset

DREMFIA on maatalouden päätuotantosuuntia kuvaava malli, jossa ei otettu huomioon koko kansantaloudessa ja varsinkin panoshinnoissa tapahtuvia muutoksia. Panoshinnat ovat DREMFIA-mallissa eksogeenisia. Tämä on sikäli perusteltua, että maatalouden panoshintoihin vaikuttavat merkittävästi energian ja työvoiman hinnat joihin maataloudella on hyvin vähäinen vaikutus. Esimerkiksi lannoitteiden hinnat riippuvat voimakkaasti energian hinnoista ja lannoitemarkkinoiden tilanteesta EU-tasolla.

Tuotantopanosten osalta vuosien 1995-2002 todellinen kustannuskehitys otetaan huomioon. Vuosina 2003-2020 oletuksena on kahden prosentin inflaatio. Inflaatiolla ei ole vaikutusta lopputuotteiden hintoihin, jotka pysyvät nimellisesti ennallaan (ellei politiikkaskenaarioissa muuta oleteta). Näin ollen maatalouden tuottavuuden ja tehokkuuden tulisi jatkuvasti parantua, jotta inflaation vaikutus kompensoitaisiin ja että maatalous voisi tarjota kilpailukykyisen ansiotason. Pitkällä aikavälillä kuitenkin 2 %:n inflaatio panoshinnoissa edellyttää jatkuvaa tuotantokustannusten alentamista, vaikka maataloustuotteiden hinnat ja maatalouden tuet eivät alenisi. Teollisuusrehujen (teollisesti valmistetut eläinten täys- ym. rehut) hinta riippuu raaka-aineiden eli keskeisesti viljan hinnoista sekä yleisestä kustannuskehityksestä. Koska raaka-aineiden osuus teollisuusrehujen myyntihinnoista on noin 50 %, kahden prosentin yleisen inflaation vallitessa teollisuusrehut kallistuvat nimellisesti siis noin prosentin vuodessa jos viljan hinnat pysyvät ennallaan.

Perusskenaario (Agenda 2000)

Perusskenaarioon liittyvässä arvioissa on oletettu, että vuonna 1999 päätetty Agenda 2000 –uudistus toteutuu sellaisenaan aina vuoteen 2020. Etelä-Suomen kotieläintaloudelle maksettavien ns. 141-tukien on oletettu säilyvän vuoden 2003 tasolla vuoteen 2020. Lisäksi on oletettu, että investointitukien tasot sekä vuoden 2003 kansallisen tukiratkaisun mukaiset tuet säilyvät. LFA- ja ympäristötuet säilyvät vuoden 2003 tasolla.

Mid Term Review (MTR)

MTR on EU:n komission 22. tammikuuta 2003 julkistama ehdotus yhteisen maatalouspolitiikan uudistamiseksi. Uudistuksella pyritään vastaamaan sekä EU:n sisäisiin (yhteisen maatalouspolitiikan rahoitus, kuluttajien ja veronmaksajien toiveet, laajentuminen jne.) että ulkoisiin haasteisiin (erityisesti kansainvälisen kaupan vapauttamisneuvottelut WTO:ssa). Keskeisenä toimenpiteenä uudistuksessa on kaiken CAP-tuen (peltokasvituki, kotieläintuki ja säilörehutuki) irrottaminen tuotannosta. Tuki maksetaan tilakohtaisena, mutta jaetaan teknisesti lohkoille historiallisen (vuodet 2000-2002) tukisumman mukaan. Lisäksi tukiin tullaan liittämään ympäristö-, elintarvikkeiden turvallisuus- ja laatu- sekä tuotantoeläinten hyvinvointiin liittyviä kriteerejä (nk. cross-compliance periaate). Näitä kriteerejä ja mahdollisia tuotteen laatuun tai eläinten hyvinvointiin liittyviä tukia ei ole tässä työssä huomioitu.

Samalla kun tuki irrotetaan tuotannosta ja maksetaan historiallisen tukitason mukaan, tätä ns. tilakohtaista tukea asteittain alennetaan 5 000 euron ylittävältä osalta. Suurilla tiloilla (tukisumma yli 50 000 euroa) alennusprosentti on suurempi kuin muilla. Säästyvät varat on tarkoitus käyttää tulevien markkinajärjestelyjen (esim. sokeri) rahoittamiseen ja maaseudun kehittämiseen.

Maidon tavoitehintaa esitetään alennettavaksi 28 %:lla. Tästä noin 40 % kompensoitaisiin tuella jonka suuruus n. 40 euroa/kiintiötonni. Kompensatio olisi kuitenkin irrallaan tuotannosta, ts. edellytyksenä ei olisi tuottaminen tai tilan maitokiintiö.

EU:n komission esityksessä on mainittu mahdollisuus LFA-tuen maksimimäärän korottamiseen mahdollisten ongelmien korjaamiseksi epäsuotuisilla alueilla. Tuen toteutumista on vaikea tässä vaiheessa ennakoida. Tässä työssä on kuitenkin tehty oletus, että LFA-tuen korotus suunnattaisiin kokonaan nautatiloille, jolloin korotetun LFA-tuen saannin ehtona olisi nautakarjan pitäminen. Korotettu tuki nousisi noin 300 euroon nautayksiköltä.

Integroitu maatalous-, ympäristö-, ja maaseutupolitiikka (INTEGRA)

Ajatuksena INTEGRA-skenaariossa on tukea maataloustuotteiden tuottamisen ohella ja jopa sen kustannuksella ympäristönhoitoa ja maaseudun työllisyyttä pitämällä yllä pientilavaltaista nautakarjataloutta.

Erona INTEGRA- ja MTR –skenaarioiden välillä on nurmituen nousu INTEGRA-skenaariossa selvästi MTR-skenaariota korkeammaksi, ja toisaalta pienille nautatiloille maksettava työvoimatuki 4 euroa /työtunti, ja pienille nautatiloille maksettava ylimääräinen investointituki, joka sekin määräytyy tuotantoon käytettävän työpanoksen perusteella. Tällä pyritään hillitsemään työn korvaamista pääomalla tuotannossa. LFA-tuen ei INTEGRA-skenaariossa oleteta nousevan Base-skenaariota korkeammaksi. Muilta osin tuet ja hinnat ovat molemmissa skenaarioissa samat.

Kesäkuun 2003 CAP –uudistus, maidon hinta muutos EU –tasolla –22% (CAPREF22)

EU:n maatalousministerien sopima uudistus yhteisen maatalouspolitiikan uudistamiseksi kesäkuussa 2003. Voin interventiohintaa alennetaan asteittain 25%, ja rasvattoman maitojauheen interventiohintaa 15% vuoteen 2007 mennessä. Tästä noin 22%:n laskennallisesta tuottajahinnan alenemisesta noin 40 % kompensoitaisiin tuella jonka suuruus olisi 35,5 euroa/kiintiötonni. Kompensaatio olisi kuitenkin irrallaan tuotannosta vuodesta 2007 lukien, ts. edellytyksenä ei olisi tuottaminen tai tilan maitokiintiö. CAP –uudistuksessa sovittiin, että maitokiintiöjärjestelmä säilyy vuoteen 2015 asti. Tässä skenaariossa on oletettu että kiintiöjärjestelmä säilyy vuoteen 2020 asti.

Maidon hintamuutokseksi, joka koostuu voin ja rasvattoman maitojauheen hintojen muutoksista, on oletettu EU –tasolla keskimäärin -22%. Kotimaan tuottajahintataso suuralueittain on DREMFIA –mallissa kysynnästä ja tarjonasta riippuva endogeeninen muuttuja. Samalla kun tuki irrotetaan tuotannosta ja maksetaan historiallisen tukitason mukaan, tätä ns. tilakohtaista tukea asteittain alennetaan 5% vuodesta 2007 alkaen 5 000 euron ylittävältä osalta.

CAP –uudistus antaa rajoitetuin osin vaihtoehtoja sen suhteen missä CAP –sonnipalkkiot ja teuraspalkkiot sekä emolehmäpalkkiot, ja toisaalta sen suhteen sidotaanko CAP –peltokasvituen kuivauskorvaus –tuki ja/tai 25% CAP –peltokasvituesta tuotantoon. Tässä skenaariossa on oletettu, että 75% sonnipalkkioista sekä 100% emolehmäpalkkioista sidotaan tuotantoon, ja muu CAP –eläintuki, mukaan lukien lypsylehmäpalkkio, irrotetaan tuotannosta. Samoin on oletettu, että CAP –peltokasvituki, mukaan lukien kuivauskorvaustuki, irrotetaan kokonaan tuotannosta.

LFA-tuen maksimimäärää korotetaan 25% eli 250 euroon hehtaarilta. Vaikka tuen kohdentaminen erityisesti kotieläintiloille on mahdollista, tuen toteutuksesta on vaikea tässä vaiheessa yksityiskohtaisesti ennakoida. Tässä työssä on oletettu, että LFA –tuen lisäystä ei kohdenneta erikseen kotieläintiloille, vaan entisen muotoista LFA –tukea korotetaan 25%.

Etelä-Suomen A- ja B –alueita ja niiden kotieläin- ja kasvitukia koskeva 141 –sopimus vuosiksi 2004-2007 otetaan huomioon. 141 –tukien oletetaan pysyvän vuoden 2007 tasolla vuosina 2008-2020. Pohjoisten C –alueen tuissa ei oleteta tapahtuvan muutoksia, vaan ne ovat vuoden 2003 tasolla vuosina 2004-2020.

141 –tukien leikkausten vastapainona on oletettu, että maatalouden investointituen taso nousee A- ja B –tukialueilla 60%:iin vuodesta 2004. Investointituen korotusta ei oleteta C- tukialueille.

CAP –uudistus, maidon hinta muutos EU –tasolla –16% (CAPREF16)

Kuten CAPREF22 -skenaario, mutta maidon hintamuutos EU –tasolla keskimäärin -16%. Koska maitotuotteiden hintakehitys EU:n sisämarkkinoilla monista epävarmoista EU:n sisäisistä ja ulkoisista tekijöistä riippuvaa, on otettu tarkasteluun myös skenaario jossa markkinatilanne olisi tuottajien kannalta suotuisa. Maidon hinnalla on vaikutusta myös tuotannon laajuuteen ja intensiteettiin, jonka vuoksi kahden eri hintaskenaarion tutkiminen on perusteltua.

Kuormituspotentiaalnin mittaaminen

Kuormituspotentiaalnin mittaamiseen käytetään sekä typelle että fosforille laadittua ravinnetasetta. Taseen laskennassa käytetään ns. peltotaseen laskentamenetelmää mitä on hyödynnetty esimerkiksi OECD:n maatalouden ympäristöindikaattoriyössä. Peltotase on väkilannoitteissa ja karjanlannassa pelolle tuotujen ravinteiden ja sieltä sadon mukana poistuneiden ravinteiden erotus eli ravinteiden yli- tai alijäämä kg hehtaaria kohden. Typen peltotasetta laskettaessa otetaan lisäksi huomioon typpilaskeuma, joka on 5 kg hehtaaria kohden. Taseen laskennassa käytetään sekä karjanlannan että kasvituotteiden osalta kiinteitä ravinnesisältökertoimia. Ravinnetaseiden laskentamenetelmistä nimenomaan peltotase soveltuu parhaiten pintavesikuormituspotentiaalnin arviointiin, mutta sekin kuvaa vain kuormituspotentiaalia kullakin tukialueella ei siis todellisia ravinnevalumia tai niiden vaikutusta alueellisissa vesistöissä.

Kesantoalaa ei oteta huomioon peltotasetta laskettaessa. Näin ollen peltotase mittaa aktiivisessa viljelykäytössä olevan alan tasetta, ei koko peltoalan tasetta keskimäärin.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Vesiensuojelun tavoiteohjelman toteutumiseen liittyvät tulokset (1995-2005)

Tässä luvussa ravinnetase raportoidaan sekä koko maan tasolla että alueittaisesti tukialuejaon mukaan. Ravinnetaseen yhteydessä raportoidaan myös sen eri komponenttien suhteelliset osuudet ja muutokset vuodesta 1995 vuoteen 2005. Lisäksi raportoimme ns. ravinteiden hyötysuhteen, joka on tuotantoon sitoutuneiden ravinteiden ja tuotantopanoksissa prosessiin tuotujen ravinteiden suhde (tavanomaisessa tuotannossa hyötysuhde on yleensä välillä 0-1).

Raportoimme aluksi koko maan kattavat laskelmat ja sitten tukialuekohtaiset laskelmat.

Kuten taulukosta 1 ilmenee niin vesiensuojelun tavoiteohjelman ravinnepäästöjen puolittamistavoite ei toteutune vuoteen 2005 mennessä. Toisaalta on otettava huomioon, että vesiensuojelun tavoiteohjelman referenssivuosi on 1993 ja sektorimallin perusvuosi 1995. Ravinnetaselaskenta kuitenkin toteutettiin vuoteen 2020 asti ja kuormituspotentiaalın puolittamistavoite ei toteudu kummankaan ravinteiden suhteen koko tarkastelujakson aikana sillä vuonna 2020 typpitase on 34,5 kg/ha ja fosforitase 3,9 kg/ha eli vähemmän vuodesta 1995 vuoteen 2020 tyypellä on 33,9 % ja fosforilla 40 %.

Kuvista 3 ja 4 nähdään että sekä typpi- että fosforitase säilyy lähes ennallaan vuoteen 1999, mutta alenee merkittävästi vuosina 2000-2001. Tämä johtuu Agenda 2000 –CAP-uudistuksen viljan hinnanalennuksista joka alentaa optimaalista lannoitustasoa 3-10 % (kasvista riippuen), mutta alentaa satotasoa vain 2-8 %. Tällöin sekä typpi- että fosforitase paranevat. Myös kansalliset siirtymäkauden hintatuet alentavat vähän lannoitus- ja satotasoa joillakin kasveilla vuosina 1996-1999. Tämä ei kuitenkaan vaikuta typpitasetta alentavasti, koska samaan aikaan sadon ravinteiden määrä lievästi vähenee lannoituksen vähentämisen seurauksena. Intensiiivisesti viljellyn säilörehunurmen osuus pinta-alasta vähenee lypsyylehmien ja nautakarjan lukumäärän vähentämisen seurauksena, mikä osaltaan vaikuttaa sadon ravinteiden vähentämiseen, jolloin pellonkäyttö ohjautuu asteittain alhaisemman intensiteetin kasveille. Nautakarjan väheneminen ja pinta-ala-

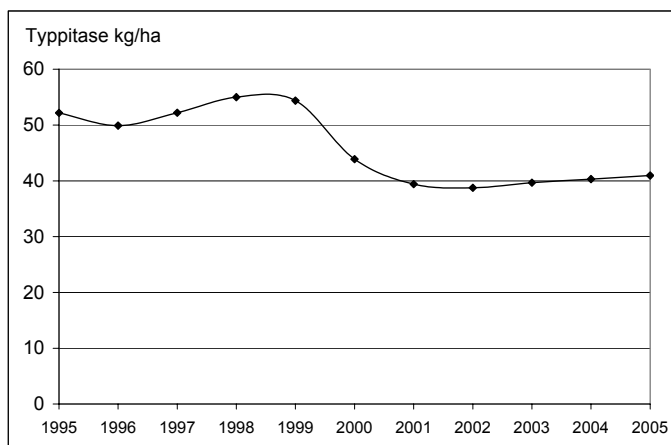
Koko maa

Taulukko 1. Koko maan ravinnetase N ja P kg/ha vuodesta 1995 vuoteen 2005.

Table 1. Nutrient surplus N and P kg/ha 1995-2005.

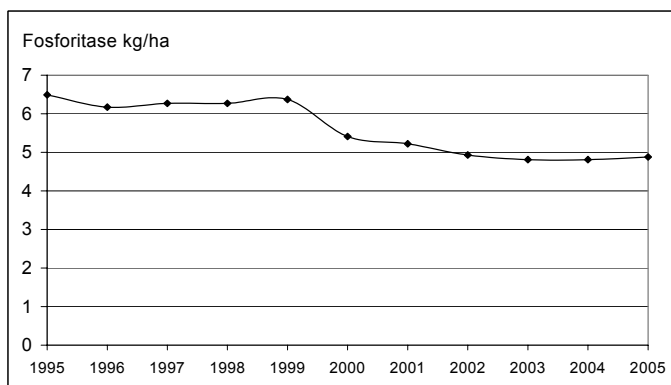
Typpi N	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	%-muutos 1995-2005 %-change
Lannoitteet Fertilizer	110,1	107,4	108,8	110,8	112,0	100,6	95,2	93,9	94,4	95,7	97,1	-11,8
Lanta Manure	41,2	40,1	39,9	39,4	40,2	38,9	38,3	37,6	36,5	35,8	35,4	-14,1
Sato Yield	94,2	93,0	91,9	90,7	93,1	91,2	89,9	88,7	87,5	87,6	88,0	-6,6
Typpi-tase N-balance	52,2	49,9	52,2	55,0	54,4	43,9	39,4	38,8	39,7	40,3	41,0	-21,5
Fosfori P												
Lannoitteet Fertilizer	8,8	8,8	9,1	9,3	9,7	8,6	8,3	8,0	8,0	8,1	8,2	-6,8
Lanta Manure	7,5	7,3	7,2	7,2	7,3	7,1	7,0	6,9	6,7	6,6	6,6	-12,0
Sato Yield	9,8	9,9	10,0	10,2	10,6	10,3	10,1	10,0	9,9	9,9	9,9	+1,0
Fosfori-tase P-balance	6,5	6,2	6,3	6,3	6,4	5,4	5,2	4,9	4,8	4,8	4,9	-24,6

perusteisten tukien taloudellisen merkityksen korostuminen (viljelyn laajape-
räistyminen) hintojen alentuessa näkyy myös lannan tyyppien asteittaisena vä-
henemisenä hehtaaria kohti.



Kuva 3. Tyypin ennakoitu tase vuosina 1995-2005.

Figure 3. Forecasted nitrogen balance kg/ha in 1995-2005.



Kuva 4. Fosforin ennakoitu tase vuosina 1995-2005

Figure 4. Forecasted phosphorous balance (kg P/ha) in 1995-2005.

Erityisesti on huomattava, että vuosien 1995-1999 laskennallisten ravinnetaseiden perusteilla ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä ravinnetaseen kehityksestä vuoteen 2005. Taloudellisesti rationaalinen päätöksenteko näyttäisi puoltavan ravinnetaseen merkittävääkin laskua vuoteen 2005, vaikka vuoteen 1999 mennessä ravinnetaseet eivät ole juuri lainkaan alentuneet. Koska suorat tuotantotuet ovat Agenda 2000-uudistuksessa nousussa ja tuotehinnat laskussa, ravinnetaseiden voidaan ennakoida alentuvan merkittävästi vuoteen 2001, jonka jälkeen aleneminen hidastuu ilman lisätoimenpiteitä.

Koska ravinnetase on luonteeltaan taselaskelma, sen kehitys ei ole lineaarista eikä toteutuneen perusteella voida ennakoida tulevaisuutta lineaarisen trendin perusteella.

Taulukossa 2 on kuvattu ravinteiden käytön hyötysuhteen muutos vuodesta 1995 vuoteen 2005. Sekä typen että fosforin käytön tehokkuus näyttäisi olevan kasvussa.

Taulukko 2. Ravinteiden hyötysuhde eli sadon mukana poistuneet ravinteet/väkilannoiteravinteet ja karjanlannan ravinteet vuodesta 1995 vuoteen 2005.

Table 2. Nutrient output/input 1995-2005.

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Typpi N	62,3	63,1	61,8	60,4	61,2	65,4	67,3	67,5	66,8	66,6	66,4
Fosfori P	60,1	61,5	61,3	61,8	62,4	65,6	66,0	67,1	67,3	67,3	66,9

Alueelliset tulokset

Taulukossa 3 on kuvattu tukialuekohtaiset ravinnetaset ja muutos vuodesta 1995 vuoteen 2005. Kuten taulukosta ilmenee niin tukialuekohtaiset tulokset poikkeavat toisistaan melkoisesti. Selittävinä tekijöinä ovat muutokset kotieläintuotannossa ja rehuntuotannossa.

Typetitase on alentunut eniten B-, C1-, C2- ja C2P tukialueilla. Tähän vaikuttaa olennaisesti nautakarjan väheneminen lypsylehmien vähentyessä. Toisaalta taseen alentumiseen vaikuttaa nurmirehun aiempaa laajaperäisempi tuotantotapa, mihin alentuneet hinnat ja nousseet hehtaariohtaiset tuet kannustavat. Tuotanto on tulosten mukaan lievästi laajaperäistynyt myös rehuviljan viljelyssä. Rehuviljan pinta-ala on viime vuosina noussut.

C3- ja C4 –alueilla typpi- ja fosforitaseen vähennys on ollut pienempi koska huomattava osa rehusta on ostorehua. Tällöin eläintiheys rehualaa kohti on suurempi kuin muilla alueilla eikä nurmen laajaperäiseen viljelyyn ole vähäisen käytettävissä olevan pinta-alan vuoksi paljon mahdollisuuksia. Lisäksi eläinten ruokinta on siirtynyt edelleen väkirehuvaltaisempaan suuntaan.

A-alueella typpiyli jäämä jopa lisääntyy ja fosforitase pysyy samana. Tämä johtuu siitä, että nautakarjan osuus on ennestään vähäinen. Lisäksi sian- ja siipikarjanlihan tuotanto on alueella lisääntynyt. Tämän seurauksena typetitase on jopa kasvanut ja fosforin suhteen ei ole vä-

henemää vaikka hintojen ja tukien muutokset puoltaisivat alenevaa kehitystä.

Taulukko 3. Tukialuekohtaiset ravinnetaseet N ja P kg/ha vuosina 1995 ja 2005 sekä muutos 1995-2005.

Table 3. Nutrient balances N and P kg/ha in agricultural support areas in 1995 and 2005 and change from 1995 to 2005

	A	B	C1	C2	C2P	C3	C4
Typpi N							
1995	40,7	42,2	43,8	54,9	62,5	93,3	101,6
2005	42,5	33,3	28,4	39,6	49,6	81,5	91,1
Muutos, % Change, %	4,4	-21,1	-35,2	-27,9	-20,6	-12,6	-10,3
Fosfori P							
1995	1,9	3,7	5,5	7,6	9,0	11,1	12,4
2005	1,9	2,1	2,8	6,5	7,9	9,4	10,6
Muutos, % Change, %	0	-43,2	-49,1	-14,5	-12,2	-15,3	-14,5

Politiikkavaihtoehtojen kuormituspotentiaali vuodesta 1995 vuoteen 2020

Kuormituspotentiaalın muutokset Base-skenaariossa

Jotta ravinnetaseella mitatun kuormituspotentiaalın muutokset ja niiden syyt eri skenaarioissa voidaan ymmärtää, on tarpeen lyhyesti tarkastella maataloustuotannon todennäköisiä muutoksia eri politiikkaskenaarioissa.

Base-skenaariossa vuonna 1999 sovitun Agenda 2000 -maitouudistuksen oletetaan toteutuvan sellaisenaan, eikä muita uudistuksia oleteta tapahtuvan. Kansallisten Etelä-Suomen kotieläintalouden tukien oletetaan säilyvän vuoden 2003 tasolla, samoin kaikkien muiden kansallisten tukien.

Koska lypsykarjatalouden rakennekehitys on ollut viime vuosina varsin vahvaa, maidon hinnan aleneminen 15 %:lla vuosina 2005-2008 ei DREMFIAMallin tulosten mukaan vähennä juuri lainkaan maidontuotannon kokonais-

volyymiä Suomessa. Tämä johtuu paljolti siitä, että hinnanalennuksen kompensointi (maksetaan per kiintiötonni, jonka hallussa pitäminen on ehto tuen kompensoinnin saamiselle) on käytännössä paljolti tuotantosidonnainen. Tuotanto keskittyy kuitenkin yhä enemmän suurille lypsykarjatiloilta. Lypsylehmien keskituotoksen noustessa lypsylehmien lukumäärä jatkaa vähenemistään ja samalla lypsykarjarotuisen nautakarjan määrä vähenee. Jos kotimaisen nautanlihan kysyntä säilyy vakaana, emolehmien määrä nousee vähitellen vuoden 2002 noin 30 000 eläimestä yli 40 000 eläimeen vuoteen 2020 mennessä. Tämä kuitenkin kompensoi vain lievästi nautakarjan määrän yleistä vähenemistä.

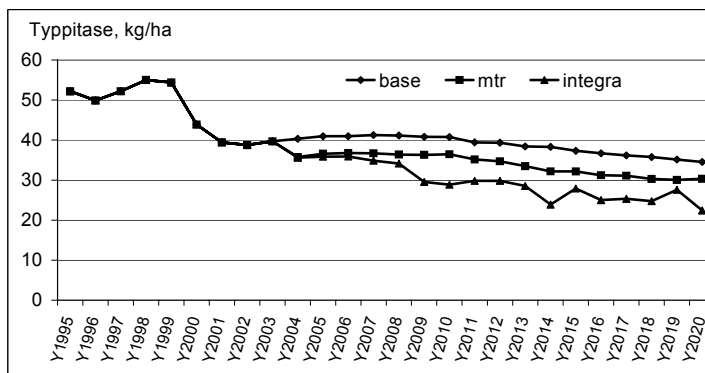
Samalla kun nautakarjan määrä vähenee ja nautakarjan ruokinta muuttuu edelleen lievästi väkirehuvältaisemmäksi, nurmiala vähenee voimakkaasti. Nurmialaa on tulosten mukaan base-skenaariossa alle 500 000 ha vuonna 2020. Vilja-ala säilyy lähes entisellään, mutta kesantoala vähitellen vähenee. Näin käy erityisesti Pohjois- ja Itä-Suomessa jossa nautakarjatalouden väheneminen jättää osan entisestä nurmialasta kokonaan viljelemättömäksi maaksi. Tähän vaikuttaa osaltaan se, että tuotanto keskittyy yhä suuremmille lypsykarjatiloilta, ja se, että viljanviljely on Itä- ja Pohjois-Suomessa ja muilla nautakarjatalouden kannalta vahvoilla alueilla suhteellisesti huomattavasti kannattava tuotantomuoto kuin muualla maassa.

Sikatalouden tuotantomäärä säilyy Base-skenaariossa likimain 170 miljoonassa kilossa vuoteen 2020. Siipikarjanlihan tuotanto kasvaa edelleen, mikäli kysyntä jatkaa kasvuaan. Viime vuosien nopea rakennekehitys siipikarjataloudessa mahdollistaa likimain kysyntää vastaavan tuotannon jatkossakin. Jos kysyntä kasvaa suotuisasti, tuotanto on vuonna 2020 yli 95 miljoonaa kiloa.

Kaiken kaikkiaan Base-skenaariossa mukainen kehitys kotieläintuotannossa ja pellonkäytössä tarkoittaa sitä, että kotieläintuotannon määrä suhteessa viljeltyyn pinta-alaan ei tule merkittävästi muuttumaan. Nautakarjan lievä vähenemistä kompensoi siipikarjanlihan tuotannon kasvu. Näin ollen myöskään koko pinta-alaan kohden laskettu ravinnetase ei tule merkittävästi muuttumaan. Typpitase saattaa vuosina 2004-2008 jopa vähän kasvaa, mutta alenee lievästi myöhemmin nautakarjan määrän alentuessa ja siipikarjantuotannon vakiintuessa (Kuva 5). Fosforitase per koko viljelty ala pysyisi likimain ennallaan vuoteen 2010 asti, mutta alenisi vähitellen noin 20 % vuoteen 2020 mennessä nautakarjan vähentyessä ja mikäli tuottavuus jatkaa hidasta kasvuaan sika- ja siipikarjataloudessa (Kuva 7).

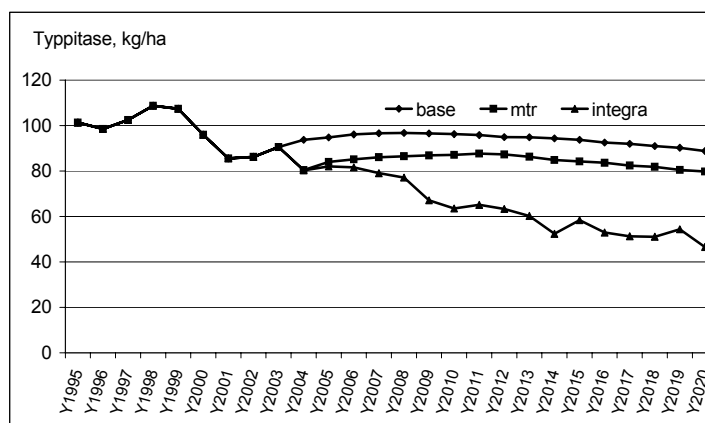
Nurmialalle laskettu typpitase kuitenkin nousee runsaat 10 % Base-skenaariossa vuosina 2002-2008 (Kuva 6). Tämä johtuu ruokinnan väkirehuvältaistumisesta ja nurmialan pienenemisestä. Vuoden 2010 jälkeen ruokinnan väkirehuvältaistuminen pysähtyy ja nurmiala ei enää eläintä kohti vähenä. Tällöin myös typpitase pysyy ennallaan tai lievästi laskee nautakarjan kokonaisuuden lievästi vähentyessä lehmien keskituotosten vähitellen nous-

tessa. Myös fosforitase per nurmihectaari (Kuva 8) alenisi vuoteen 2020 mennessä.



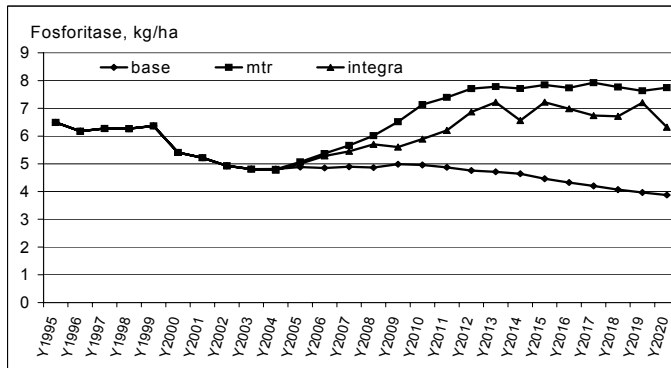
Kuva 5. Keskimääräinen typpitase (kg/ha) koko viljellylle alalle laskettuna eri skenaarioissa vuodesta 1995 vuoteen 2020 base-, mtr- ja integra - skenaarioissa.

Figure 5. Forecasted average nitrogen balance (kg/ha), calculated per hectare of cultivated land, in 1995-2020.



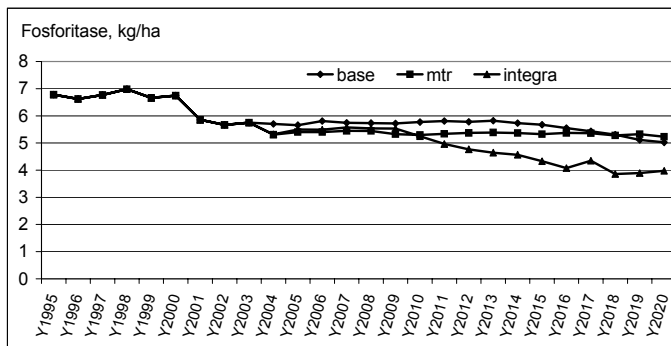
Kuva 6. Keskimääräinen typpitase (kg/ha) nurmialalle laskettuna eri skenaarioissa vuodesta 1995 vuoteen 2020 base-, mtr- ja integra -skenaarioissa.

Figure 6. Average nitrogen balance (kg/ha), calculated per hectare of grass land in 1995-2020.



Kuva 7. Keskimääräinen fosforitase (kg/ha) koko viljellylle alalle laskettuna eri skenaarioissa vuodesta 1995 vuoteen 2020 base-, mtr- ja integra -skenaarioissa.

Figure 7. Average phosphorous balance (kg/ha), calculated per hec-tare of cultivated land, in 1995-2020.



Kuva 8. Keskimääräinen fosforitase (kg/ha) nurmialalle laskettuna eri skenaarioissa vuodesta 1995 vuoteen 2020 base-, mtr- ja integra -skenaarioissa.

Figure 8. Average phosphorous balance (kg/ha), calculated per hectare of grass land in 1995-2020.

Kuormituspotentiaalın muutokset MTR-skenaariossa

CAP-eläintukien ja maidon hinnanalennuskorvausten muuttaminen tilakoh-taiseksi, mutta käytännössä pinta-alaan sidotuksi tueksi (pelto pidettävä vilje-lykunnossa) vähentää kannustinta tuottaa ja investoida naudanlihan- ja mai-dontuotantoon. CAP-tuen riippumattomuus kannustaa luopumaan nautakarja-taloudesta ja siirtymään sivutoimiseen kasvinviljelyyn/kesannointiin. Huo-mattakoon että naudan- ja maidontuotanto ovat pitkään olleet päätoimisilla tiloilla heikommin kannattavampia kuin muut tuotantosuunnat.

Naudanlihantuotantoa tuen irtikytkeminen tuotannosta koskisi täysimääräisenä heti kun uudistus astuu voimaan. CAP-tuet ovat tyypillisesti lähes 50 % naudanlihantuottajan saamista tuista. Tuet puolestaan ovat Suomessa suuremmat kuin lihasta saatavat myyntituotot, jotka eivät kata muuttuvia tuotantokustannuksia. Toteutuessaan uudistus alentaisi merkittävästi investointeja naudanlihantuotantoon ja siten myös tuotantoa keskipitkällä (5-15 vuotta) ja pitkällä aikavälillä (yli 15 vuotta). EU:n mittakaavassa naudanlihantuotanto saattaisi keskittyä luonnonolosuhteiltaan suotuisimmille alueille ja vähentyä epäsuotuisilla alueilla.

Maidon tavoitehintaa alennetaan MTR-skenaariossa 28 %:lla. Tästä noin 40 % kompensoidaan tuella jonka suuruus on n. 40 euroa /kiintiötonni. Kompensaatio olisi kuitenkin irrallaan tuotannosta, ts. edellytyksenä ei olisi tuottaminen tai tilan maitokiintiö. Yhdessä tuen irtikytkemisen kanssa uudistus heikentäisi merkittävästi kannustinta tuottaa maitoa ja naudanlihaa maitotiloilla. Vuonna 2000 noin 55 % lypsylehmistä (tuotannosta) oli alle 20 lehmän tiloilla, runsas 40 % 20-49 lehmän tiloilla ja vain muutama prosentti yli 50 lehmän tiloilla. Useissa EU-maissa maitotilojen rakenne on lähes peilikuva: pääosa tuotannosta tulee suurilta tiloilta. Suurilla ja erityisesti työnkäytön suhteen tehokkailla tiloilla tuotanto on taloudellisesti mielekäs vaihtoehto alhaisella hintatasolla.

Eryityisesti pienten tilojen kannustin investoida asteittain suurempiin yksiköihin heikkenee kun hinta alenee ja kompensatio irrotetaan kokonaan tuotannosta ja maitokiintiöistä. Yli 40 euron kompensatio per kiintiötonni muutettuna kokonaan irrotetuksi tueksi - ja lisäksi tuotannosta irrotetut sonninpalkkiot, jos maitotilalla on kasvatettu sonnit itse - houkuttelisi tehokkaasti luopumaan karjataloudesta ja siirtymään sivutoimiseen kasvinviljelyyn ja kesannointiin, joita tuetaan lisäksi muilla hehtaarisidonnaisilla tuilla.

Ratkaisevaa tuotannon jatkuvuuden kannalta on kuinka kannustin investoida suurempiin yksiköihin pidetään riittävän suurena riittävän kauan jotta maitosektorin tilarakenne voisi kehittyä Suomessa sellaiseksi, että tuotanto olisi alhaisellakin hintatasolla taloudellisesti mielekäs vaihtoehto esim. sivutoimiselle kasvinviljelylle/kesannoinnille.

Maidontuotanto ei kuitenkaan vähene MTR-skenaariossa heti, vaan väheneminen alkaa 4-5 vuoden kuluttua uudistuksesta, mutta investointien ja tuotannon väheneminen kiihtyy tämän jälkeen. 10-15 vuoden kuluttua vaikutukset tuotannon määrässä olisivat jo suuria. LFA-tuen korotus ja korotuksen suuntaaminen nautakarjatiloilta ei ole vielä riittävä kannustin maidontuotannon jatkamiseen entisellä tasollaan Suomessa, jos maidon hinta alenee EU-tasolla 28 %. Tämä tarkoittaisi runsaan 20%:n hinnanalennusta Suomen tuottajainnoissa jos tarjonta vähenee. Tuotanto tulisi lähes kokonaan yli 20 lehmän tiloilta. Merkittävä osa tuotannon jatkumisen kannalta tarpeellisista investoinneista jäisi kuitenkin kokonaan tekemättä, ts. vain harvat nykyisistä

alle 20 lehmän tiloista lähtisivät laajentamaan tuotantoa. Hinnanalennus alentaisi myös suurempien tilojen katetta ja investointeja, jolloin suuret tilat voisivat EU-tasolla suhteellisen hitaasti lisätä tuotantaan pienten tilojen lopettaessa tuotannon. Maidontuotanto vähenisi vuoteen 2020 mennessä 1,7 miljardiin kiloon eli likimain kotimaista kulutusta vastaavalle tasolle.

Kesantoala tulisi kasvamaan voimakkaasti, erityisesti maitotiloilla Itä- ja Pohjois-Suomessa, ja tiloilla joilla on ollut lypsykarjan lisäksi myös muita nautaeläimiä. Kesantoala nousisi lähes 800 000 hehtaariin eli puoleen Suomen CAP-peltokasvien perusalasta. Sivuaansiona kesannonhoito olisi hyvinkin kannattavaa, koska kesannonhoito turvaisi tilakohtaisen tuotannosta irrotetun tuen saamisen, ja lisäksi kesantoalalle saisi edelleen LFA-tuen. Pääosa tilan tuloista täytyisi kuitenkin hankkia tilan ulkopuolelta, kuten sivutoimisilla kasvinviljelytiloilla yleensä.

Viljan hinnan aleneminen johtaisi myös viljantuotannon kannattavuuden heikkenemiseen. Vaikka merkittävä osa kasvinviljelyn tuesta (ympäristö- ja LFA-tuki sekä kasvinviljelyn kansallinen tuki) olisi edelleen tuotantosidonnaista, CAP-tuen irtikytkeminen heikentäisi motivaatiota tuottaa viljaa. Sekä leipä- että rehuviljan tuotanto saattaisi vähentyä, mutta ei kuitenkaan yhtä voimakkaasti kuin maidon- ja naudanlihantuotanto.

Kaiken kaikkiaan MTR-skenaario alentaisi typpitasetta per viljelty pinta-ala noin 15 % Base-skenaarioon verrattuna. Myös typpitase per nurmihehtaari alenee MTR-skenaariossa noin 10 % Base-skenaarioon verrattuna. Tämä johtuu maidontuotannon ja nautakarjan nopeasta vähenemisestä ja toisaalta tuotannon laajaperäistymisestä - alhainen maidon hinta ja alentunut viljan hinta alentaisi typpilannoitustasoa.

Keskimääräinen fosforitase koko viljeltyä pinta-alaa kohti nousisi merkittävästi, jopa 60 % vuodesta 2002 vuoteen 2020 mennessä. Tämä johtuu pääosin vilja-alan vähenemisestä noin 30 %:lla. Samaan aikaan kuitenkin sianlihantuotannon määrä pysyy kuitenkin ennallaan ja siipikarjalihan tuotanto kasvaa lähes 20 % vuosina 2002-2020. Sika- ja siipikarjatiloiilla peltoa lannoitetaan yleensä enemmän kuin sivutoimisilla viljanviljelytiloilla, joiden aktiivisessa viljelyssä oleva pinta-ala vähenee MTR-skenaariossa. Keskimääräisen fosforitaseen nousu on näin ollen enemmän laskennallinen eikä välttämättä tarkoita peltotaseen nousua kotieläintiloilla. Siipikarjanlihantuotannon nousu siihen jo ennestään erikoistuneilla alueilla, joissa kaikki peltoala on pääsääntöisesti jo nykyisin aktiivisessa käytössä, johtaa kuitenkin peltotaseen nousuun ellei viljelyalaa samalla lisätä. Nurmialaa kohti laskettu fosforitase ei kuitenkaan nouse MTR-skenaariossa Base-skenaarioon verrattuna.

Kuormituspotentiaalnin muutokset INTEGRA-skenaariossa

Erona INTEGRA- ja MTR –skenaarioiden välillä on nurmituen nousu INTEGRA-skenaariossa selvästi MTR-skenaariota korkeammaksi, ja toisaalta pienille nautatiloille maksettava työvoimatuki 4 euroa /työtunti, ja pienille nautatiloille maksettava ylimääräinen investointituki. LFA-tuen ei INTEGRA-skenaariossa oleteta nousevan Base-skenaariota korkeammaksi. Muilta osin tuet ja hinnat ovat molemmissa skenaarioissa samat.

INTEGRA-skenaario johtaa vielä MTR-skenaariota nopeampaan maidontuotannon ja nautakarjan vähenemiseen. Maidontuotanto vähenisi alle miljardiin litraan eli likimain maitonesteiden ja muiden tuoretuotteiden kotimaista kulutusta vastaavalle tasolle. Tähän on syynä se, että pienille nautakarjatilaille suunnattu työvoimatuki ja ylimääräinen investointituki hidastaa merkittävästi yksikkökoon kasvua lypsykarjaloudessa. Tämän seurauksena maataloustulo säilyy INTEGRA-skenaariossa jonkin aikaa MTR-skenaariota korkeammalla tasolla, mutta alenee vuoden 2010 jälkeen erittäin nopeasti. Tähän on syynä maidontuotannon ja emolehmien lukumäärän erittäin nopea väheneminen vuoden 2010 jälkeen. Pieniä tiloja säilyy INTEGRA-skenaariossa enemmän kuin MTR-skenaariossa, mutta suurten tilojen edellytykset investoida ja jatkaa tuotantoa ovat erittäin heikot. Tämä johtuu siitä, että maidon hinta alenee 28 % vuoteen 2009 mennessä, jonka vastapainoksi ei makseta korotettua LFA-tukea suunnattuna nautatiloille. Kaikki lisätuki maksetaan pienille nautakarjatilaille, joiden määrä vähenee tuista huolimatta. Näin ollen pienille tiloille suunnattu tuki ei pidä tuotantoa yllä jos maidon hinta alenee voimakkaasti.

INTEGRA-skenaariossa sian- ja siipikarjanlihan tuotanto on edelleen lähellä Base-skenaarion tasoa, ja ajoittain vähän sen yläpuolella.

Nurmiala säilyy INTEGRA-skenaariossa lähes Base-skenaarion suuruisena huolimatta siitä, että maidontuotannon kokonaismäärä jää alle puoleen Base-skenaarion tasosta. Syynä tähän on nurmituki joka kannustaa pitämään laajaperäistä laidunta yli tarpeen. Nurmituki tekee INTEGRA-skenaariossa suhteellisesti likimain yhtä kannattavan pellonkäytön muodon kuin viherkesanosta, jonka ala kasvaa myöskin voimakkaasti, noin 700 000 hehtaariin vuoteen 2015 mennessä. INTEGRA-skenaariossa suhteellisesti edullisin toimintatapa viljelijälle on tarjottujen tukien hyödyntäminen ja kustannusten minimoiminen, joka johtaa maidontuotannon ja nautakarjan vähenemiseen ja kesantoalan kasvuun. Vilja-ala vähenee vain vähän MTR-skenaarioon verrattuna.

Typпитase per koko viljelty pinta-ala alenee INTEGRA-skenaariossa noin 30 % Base-skenaarion tason alapuolelle ja noin 20 % MTR-skenaarion alapuolelle. Nurmialaa kohden laskettu typпитase alenee lähes puoleen Base-skenaarion tasosta ja noin 40 % MTR-skenaarion typпитaseen alapuolelle.

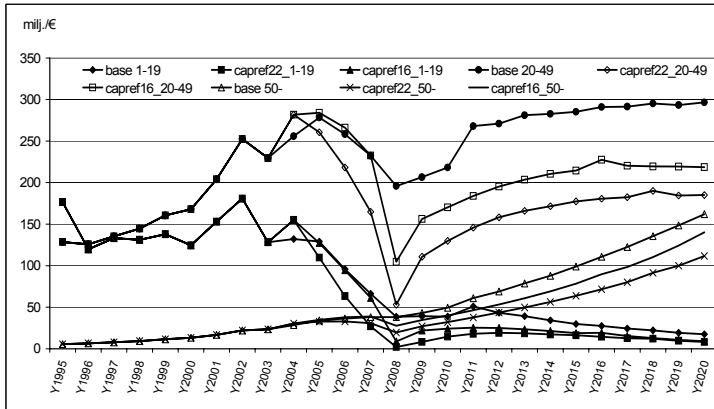
Tämä selittyy maidontuotannon nopealla vähenemisellä ja sillä, että laidunala säilyy lähes Base-skenaarion tasolla.

Fosforitase viljeltyä alaa kohti laskettuna sen sijaan nousee merkittävästi, ei kuitenkaan yhtä paljon kuin MTR-skenaariossa. Kuten myös MTR-skenaariossa, nousuun on syynä vilja-alan väheneminen ja siipikarjanlihan tuotannon kasvu. Nousua tasoittaa kuitenkin nurmen suuri pinta-ala suhteessa maidontuotantoon. Samasta syystä fosforitase per nurmiala on INTEGRA-skenaariossa merkittävästi, noin 20 %, alhaisempi kuin Base- ja MTR-skenaarioissa.

Kuormituspotentiaalın muutokset CAPREF22 – skenaariossa

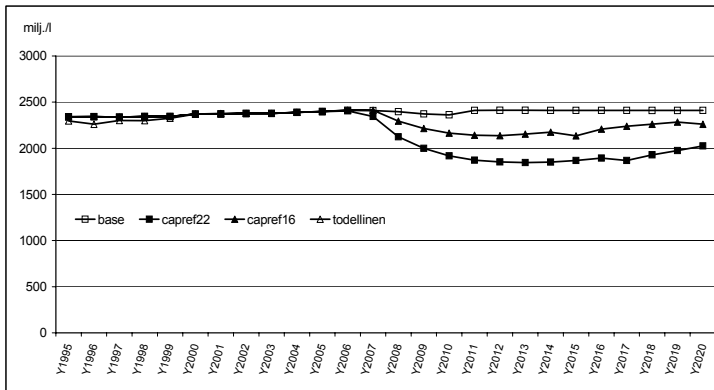
Kotieläintuotannon väheneminen on tämän politiikkaskenaarion seurauksena lievempää kuin MTR – ja INTEGRA -skenaariossa (komission ehdotus tammikuussa 2003). Vaikutukset ovat silti tuntuvia maidontuotannossa, jossa investoinnit pieniin alle 20 lehmän tuotantoyksiköihin sekä keskisuuriin 20-49 lehmän yksiköihin vähenevät tuntuvasti (Kuva 9). Tuotanto, vaikka vähenee noin 13% vuoden 2002 tasosta vuoteen 2014 mennessä, kuitenkin vähitellen elpyy vuoteen 2020 mennessä tasolle joka on noin 10% alempi kuin vuoden 2002 tuotanto. Tämä johtuu siitä, että maitokiintiöiden hintojen aleneminen murto-osaan entisestä, ja joinakin vuosina mallin tulosten mukaan jopa lähelle nollaa, helpottaa laajentavien tilojen investointeja jotka edelleen säilyvät kannattavina. Kokonaisinvestoinnit maidontuotantoon kuitenkin vähenevät, koska pienten tilojen laajennukset vähenevät. On huomattava, että tuen irrottaminen CAP –tuen ja erityisesti lypsylehmäpalkkion määrästä tarkoittaa sitä, että vuoden 2007 jälkeen investointi tai maitokiintiön osto ei enää lisää tilan saaman CAP –tuen määrää. Tuotannon väheneminen vuoteen 2014 asti (Kuva 10) johtuu siitä, että keskisuuria ja suuria maitotiloja on Suomessa suhteellisen vähän. Koska näistäkin suuri osa on viime vuosina laajentaneita, niiden mahdollisuudet tuotannon jatkolajennuksiin ovat rajalliset lyhyellä aikavälillä. CAP –uudistuksen vaatima rakennekehitys vaatii siis aikaa toteutuakseen (Lehtonen 2004). Tänä aikana tuotantosidonnainen tuki, esimerkiksi LFA –tuen sitominen kotieläintuotantoon, olisi perusteltu mikäli tuotannon määrän ei haluta vähenevän.

Tuotannon vähenemisen seurauksena maidon tuottajahinta ei alene 22%:a kuten EU:ssa on keskimäärin oletettu tapahtuvaksi tässä skenaariossa. Tuottajahinta alenee kyllä aluksi lähes 20%, mutta erityisesti voimavientitarpeen väheneminen tuotannon vähentyessä antaa meijereille mahdollisuuksia nostaa tuottajahintaa jatkossa. Vuoteen 2014 mennessä tuottajahinta olisi palautunut tasolle joka on noin 10% vuoden 2002 tason alapuolella, ja vuoteen 2020 tasolle joka olisi noin 13% vuoden 2002 tasoa alempana (Kuva 11).



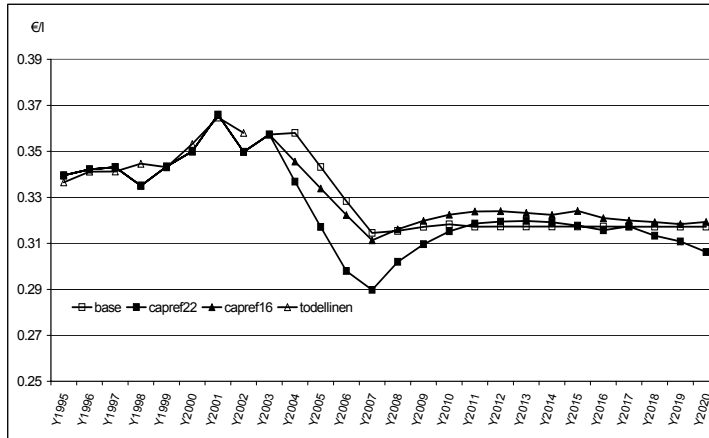
Kuva 9. Maitotilojen investoinnit (miljoonaa euroa) eri tilakokoluokissa (1-19 lehmää, 20-49 lehmää, yli 50 lehmää) perus (base)-, capref22- ja capref16 – skenaarioissa.

Figure 9. Development of dairy investments (€ million) in different farm size classes (1-19 cows, 20-49 cows, more than 50 cows) in base-, capref22- and capref16 –scenarios.



Kuva 10. Maidon kokonaistuotanto (miljoonaa litraa) perus (base)-, capref22- ja capref16 –skenaarioissa sekä toteutunut tuotannon määrä 1995-2002.

Figure 10. development of milk production volume (million litres) in base-, capref22- ja capref16 –scenarios versus actual production in 1995-2002.

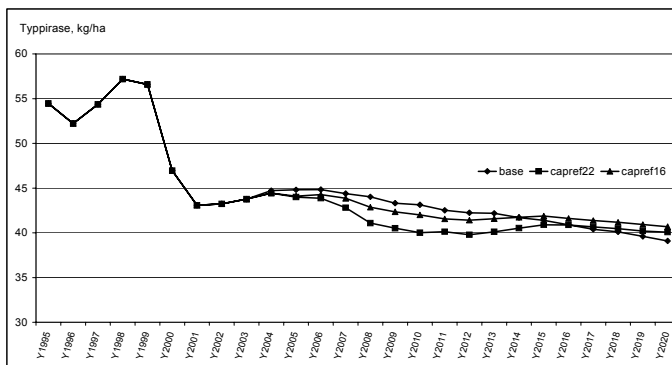


Kuva 11. Maidon tuottajahinnan kehitys (€ / litra) eri skenaarioissa sekä toteutunut hintakehitys (kiintiön ylittymisestä aiheutuneet sakot huomioiden) 1995-2002.

Figure 11. Development of producer price of milk (€ / litre) in different scenarios versus actual price in 1995-2002.

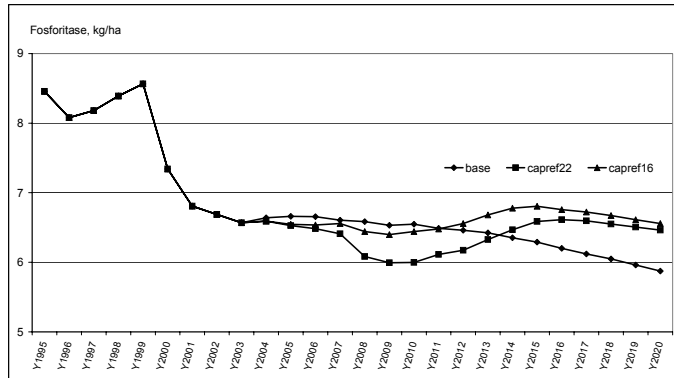
Tuotannon väheneminen ja tuotannon siirtyminen suuremmille tiloille johtaa siihen, että tuotanto keskittyy alueellisesti. Tällöin peltomaan kysyntä ja tarjonta eivät täysin kohtaa alueellisesti. Seurauksena on eläintiheyksien ja erityisesti nurmen fosforitaseen nousu, mikä ei vaikuta merkittävästi typpi- ja fosforitaseisiin keskimääriin (Kuvat 12 ja 13), mutta kylläkin nostaa merkittävästi nurmen fosforitasetta (Kuva 15). Näin käy huolimatta siitä, että maidon hinnan aleneminen johtaa laajaperäisempään tuotantoon (nurmen typpitase alenee; Kuva 14) ja vähentää kalliimpien täysrehujen ja tiivisteiden käyttöä lypsylehmien ruokinnassa. Väkiprehun käyttö jäänee maidon hinnan alenemisesta huolimatta vähintään vuoden 2002 tasolle. Lehmien keskituotosten nousu, jota maidon hinnan aleneminen hidastaa vain vähän, käytännössä edellyttää väkiprehun runsaan käytön jatkumista, ellei säilörehun laatua paranneta. Yhdessä tuotannon keskittymisen kanssa väkiprehun runsaan käytön jatkuminen tai mahdollinen kasvu johtaa siihen, että fosforin ravintetase ei nurmella alene vaan nousee myös viljellyllä alalla keskimääriin. Kuten MTR –skenaariossa, koko viljellyn alan fosforitaseen nousu (Kuva 13) johtuu myös osittain siipikarjanlihan tuotannon kasvusta ja vilja-alan lievistä vähenemisistä. Kesäkuussa 2003 sovitussa CAP –uudistuksessa viljan interventiohintaa ei alennettu, joten viljan lannoitustason ja intensiteetin lievää alenemista sitä kautta ei ole luvassa kuten MTR –skenaariossa.

CAP –peltokasvituen täysi irrottaminen tuotannosta johtaisi vilja-alan alenemiseen lähes 20%:lla vuoteen 2020 ja vastaavasti kesantoalan kasvuun yli 500 000 hehtaariin eli vuosien 1994-1995 keskimääräiselle tasolle. Kesantoala kasvaisi erityisesti siksi, että suuri osa Itä- ja Pohjois-Suomen nautatiloista lopettaisi tuotannon. Maataloustulo ei tämän seurauksena kuitenkaan alenisi, koska huonoimmilla viljelysmailla mailla lähes kaikki tuki kuluu tuotantokustannusten kattamiseen. CAP –peltokasvituen täydellä irrottamisella tuotannosta olisi näin ollen pienimuotoisia tehokkuusetuja. Koska tässä tutkimuksessa ravinnetase lasketaan vain viljellylle alalle, on huomattava, että kesantoalan kasvu laskee merkittävästi keskimääräistä panoskäyttöä koko peltoalalla, mikä pelkästä ravinnetaseesta ei käy ilmi.



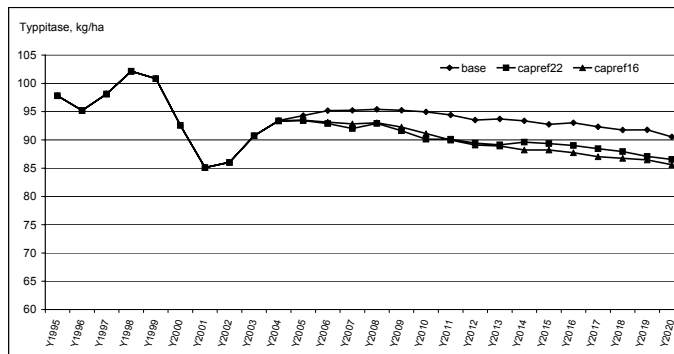
Kuva 12. Keskimääräinen typpitase (kg/ha) koko viljellylle alalle laskettuna vuodesta 1995 vuoteen 2020 base-, capref22- ja capref16 -skenaarioissa. Kuvissa 12 ja 13 on vähemmän korkeat taseet kuin kuvissa 7 ja 8, koska lannoitteiden fosforipitoisuus päivitettiin lähemmäs tilastoarvoja DREMFIA-mallissa vuoden 2003 aikana. Tuloksia tarkasteltaessa on olennaista suhteelliset muutokset ravinnetaseissa eri politiikkamuutosten välillä.

Figure 12. Forecasted average nitrogen balance (kg/ha), calculated per hectare of cultivated land, in base-, capref22- ja capref16 –scenarios, in 1995-2020.



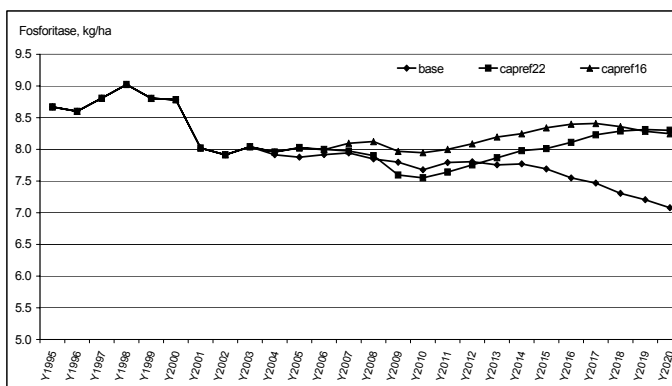
Kuva 13. Keskimääräinen fosforitase (kg/ha) koko viljellylle alalle laskettuna eri skenaarioissa vuodesta 1995 vuoteen 2020 base-, capref22- ja capref16 -skenaarioissa. Kuvissa 12 ja 13 on vähemmän korkeat taseet kuin kuvissa 7 ja 8, koska lannoitteiden fosforipitoisuus päivitettiin lähemmäs tilastoarvoja DREMFA-mallissa vuoden 2003 aikana. Tuloksia tarkasteltaessa on oltava suhteelliset muutoksen ravinnetaseissa eri politiikkamuutosten välillä

Figure 13. Forecasted average phosphorous balance (kg/ha), calculated per hectare of cultivated land, in base-, capref22- ja capref16 -scenarios, in 1995-2020.



Kuva 14. Keskimääräinen typpitase (kg/ha) nurmialalle laskettuna eri skenaarioissa vuodesta 1995 vuoteen 2020 base-, capref22- ja capref16 -skenaarioissa.

Figure 14. Forecasted average nitrogen balance (kg/ha), calculated per hectare of grass land, in base-, capref22- ja capref16 -scenarios, in 1995-2020.



Kuva 15. Keskimääräinen fosforitase (kg/ha) nurmialalle laskettuna eri skenaarioissa vuodesta 1995 vuoteen 2020 base-, capref22- ja capref16 – skenaarioissa.

Figure 15. Forecasted average phosphorous balance (kg/ha), calculated per hectare of grass land, in base-, capref22- ja capref16 –scenarios, in 1995-2020.

Kuormituspotentiaalilin muutokset CAPREF16 – skenaariossa

EU:n maitotuotemarkkinoiden ja maitotuotteiden hintojen kehityksellä on merkittävä vaikutus maitotilojen investointeihin ja tuotannon laajuuteen. Tulosten mukaan 16 %:n hinnanalennus EU-tasolla sekä tuen irti kytkeminen johtaisi kuitenkin edelleen tuotannon määrän alenemiseen noin 10%:lla vuoteen 2015 mennessä. Tuotannon määrä kuitenkin palautuisi vuoteen 2020 tasolle joka olisi noin 3% vuoden 2002 tuotantoa alhaisempi. Tuottajahinta voisi tuotannon vähenemisen vuoksi olla kuitenkin korkeampi kuin tuottajahinta perusskenaariossa, jossa maidontuotannon määrä olisi jatkuvasti lähes kiintiön mukainen. Tässä skenaariossa tuottajahinta olisi 10-12% alhaisempi kuin vuoden 2002 keskimääräinen tuottajahinta.

Kohtuullisen vähäinen tuottajahinnan aleneminen johtaisi vain vähäiseen tuotannon intensiteetin ja tyypitaseen alenemiseen. Fosforitase puolestaan olisi pitkään korkeampi kuin CAPREF22 –skenaariossa, koska väkirehujä käytettäisiin vähän enemmän. Maidontuotannon määrän kasvu kuitenkin alentaisi tuottajahintaa vuoteen 2020, mikä puolestaan vähän alentaisi tuotannon intensiteettiä ja ravinnetasetta vuoteen 2020 mennessä.

Johtopäätökset

Mallitulosten valossa näyttää siltä, että vesiensuojelun tavoiteohjelman mukaisia typpi- ja fosforikuormituksen puolittamistavoitteita tuskin saavutetaan nykyisenkaltaisella politiikalla (Agenda 2000) edes vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteiden saavuttaminen näyttäisi edellyttävän lisää kannustimia entistä laajaperäisempään tuotantotapaan.

MTR- ja INTEGRA-skenaarioissa, joissa alenevat maidon (-20-28 %) ja viljan (-5 %) hinnat kannustavat laajaperäiseen tuotantotapaan, tyypitase alenee Base-skenaarioon verrattuna. Sen sijaan fosforitase per koko viljelty ala nousee merkittävästi Base-skenaarioon verrattuna. Tämä on seurausta vilja-alan vähenemisestä yli 30 %:lla (suurin osa leipäviljasta tuodaan ulkomailta) samaan aikaan kun sianlihantuotanto pysyy lähes muuttumattomana ja siipikarjanlihantuotanto kasvaa lähes 20 %. Tämä tarkoittaa sitä, että nautakarjanlanta fosforipitoisempaa sian- ja siipikarjanlanta levitetään suurelle osalle viljellystä vilja-alasta. Tällöin keskimääräinen fosforitase nousee. Fosforitaseen nousu on kuitenkin jossain määrin laskennallista: Tase ei välttämättä nouse merkittävästi sika- ja siipikarjatiljoilla, jos rehuviljan viljely kattaa likimain kotimaisen rehutarpeen. Mahdollista kuitenkin on, että laajaperäisyyttäkin suosivan politiikan vallitessa sika- ja siipikarjatalous keskittyvät alueellisesti. Tällöin typpi- ja erityisesti fosforitase voivat paikallisesti nousta, koska entistä suurempi osa peltoalasta on intensiivisen viljanviljelyn piirissä, ja sivutoiminen kasvinviljely on vähentynyt. Huomattakoon, että fosforitaseen nousu on sisävesien kuormituksen kannalta suurempi riskitekijä kuin tyypitaseen nousu.

Laajaperäiseen tuotantotapaan ohjaavat politiikkauudistukset eivät kaikissa tapauksissa ja kaikilta osin välttämättä johda ravinnetaseen ja potentiaalisen ravinnekuormituksen vähenemiseen. MTR- ja INTEGRA-skenaarioissa viljan hinnan aleneminen johtaa viljan viljelyn kannattavuuden heikkenemiseen koko maassa, jolloin sivutoiminen viljan viljely vähenee ja yhä suurempi osa peltoalasta on alueellisesti keskittyvän sika- ja siipikarjatalouden käytössä.

INTEGRA-skenaarion laidunalan kasvu herättää sekin kysymyksiä: jos nurmea tuetaan selvästi nykyistä enemmän, mutta kannustimet naudanhoidon ja maidontuotannon heikkenevät, seurauksena voi olla nurmen ns. näennäisviljely. Jos nurmen sato jää osin korjaamatta, riski ravinnevalumiin voi kasvaa suuremmaksi verrattuna tilanteeseen, jossa aktiivisen viljelyn ulkopuolelle jäävä ala olisi viherkesantona.

Erikseen tutkittiin myös kesäkuussa 2003 sovitun CAP –uudistuksen vaikutuksia keskimääräisiin ravinnetaseisiin. CAPREF22- ja -16 –skenaarioissa, joissa viljan hinta ei alene, tuen irtikytkeminen tuotannosta ja maidon hintojen aleneminen 22% ja 16% ei johtanut kuin ainoastaan vähäiseen tyypita-

seen alenemiseen koko alalla keskimäärin ja nurmialalla. Sen sijaan fosforitase kasvoi molemmissa tapauksissa tuotannon keskittymisen vuoksi. Vastaavasti kesantoala todennäköisesti kasvaa tulevaisuudessa, ellei ympäristö- ja LFA –tukiin tehdä tätä kehitystä hidastavia muutoksia.

Ravinnetaseiden laskentamenetelmistä nimenomaan käyttämämme peltotase soveltuu parhaiten pintavesikuormituspotentiaalin arviointiin, mutta sekin kuvaa vain kuormituspotentiaalia kullakin tukialueella, ei siis todellisia ravinnevalumia tai niiden vaikutusta alueellisissa vesistöissä. Analyysia tulisi-kin täydentää spatiaalisella valuma-alue tarkastelulla niillä tukialueilla joilla ravinneylijäämät ovat yhä merkittävät. Mikäli ympäristöherkät alueet ja ravinneylijäämäalueet ovat samoja niin silloin ympäristötuen erityistukien (erityisesti suojavyöhykkeet ja kosteikot) kohdentamisella näille alueille voidaan ravinneylijäämistä huolimatta edistää ravinnevalumien vähenemistä ja vesiensuojelun tavoitteiden toteutumista.

Summa summarum, mallitarkastelun valossa voidaan todeta: ensiksikin vesiensuojelun tavoiteohjelman vähennystavoitteita ei maataloudessa todennäköisesti tulla saavuttamaan vuoteen 2005 mennessä ja nykyistä laajaperäisemmälläkin poliittikavaihtoehdoilla puolittamistavoitetta tuskin saavutetaan ilman lisätoimenpiteitä. Toiseksi, tuotehintojen aleneminen ja tuotannosta irrotettu tuki johtaa tulosten mukaan keskimäärin vain noin 5-10 %:n alenemiseen typen peltotaseessa. Tulos pätee sekä kaikelle viljellylle alalle että nurmialalle. Tulos johtuu osaltaan siitä, että lypsylehmien keskituotoksen kasvaessa nautojen ruokinnan väkirehuvaltaistuminen jatkuu, varsinkin jos viljan hinta alenee (MTR –skenaario), jolloin lannanlevityspinta-ala suhteellisesti pienenee. Eläintiheys kasvaa myös siitä syystä, että erityisesti lypsykarjatalous tulee todennäköisesti keskittymään alueellisesti, jolloin peltomaan kysyntä ja tarjonta kohtaavat aiempaa huonommin. Toisaalta siipikarjanlihan tuotannon kasvu tuottaa fosforipitoista lantaa vähenevälle vilja-alalle, mikä nostaa fosforitasetta vaikka viljan hinta alenisikin.

Saatu tulos on vastoin ennakkokäsityksiä siitä miten tuotannosta irrotettu tuki vähentää tuotannon intensiteettiin liittyviä ympäristöongelmia. Sillä vaikka esimerkiksi lannoitteiden käyttö vähenee hehtaaria kohden niin tuotannon rakenteen ja pellonkäytön muuttuminen voi johtaa ravinneylijäämien kasvuun. Näin voi tapahtua sekä alueellisesti että kokonaistasolla keskimäärin.

Kirjallisuus

Bäckman, S., Vermeulen, S. & Taavitsainen, V-M. 1997. Long-term fertilizer field trials: Comparison of three mathematical response models. *Agricultural and Food Science in Finland*, Vol. 6:151-160.

Heikkilä, T. 1980. Typpilannoitteiden taloudellisesta käytöstä koetulosten perusteella (in Finnish, no English abstract). *Agricultural Economics*

Research Institute, Helsinki, Finland. Research Reports 70. Helsinki: MTTL. 45 p.

Kleemola, H.M. 1989, Säilörehun typpilannoituksen kannattavuus. Maanviljelystalouden tutkielma. Helsingin yliopiston maatalousekonomian laitos.

Lehtonen, H. 2001. Principles, structure and application of dynamic regional sector model of Finnish agriculture. Academic dissertation. Systems Analysis Laboratory, Helsinki University of Technology. Publisher: Agrifood Research Finland, Economic Research (MTTL). Publications 98. Helsinki: MTT/Taloustutkimus. 265 s.

Lehtonen, H. 2004. Impacts of de-coupling agricultural support on dairy investments and milk production volume in Finland. Acta Agriculturae Scandinavica, Section C – Economy Vol 1: 46-62.

Maatalouden ympäristötuen taloudellinen merkitys tukialueittain ja tuotantosuunnittain vuosina 2000 ja 2001

Kauko Koikkalainen ja Jussi Lankoski

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki, kauko.koikkalainen@mtt.fi, jussi.lankoski@mtt.fi

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa analysoidaan maatalouden ympäristötuen taloudellista merkitystä eri tuotantosuunnissa ja tukialueilla. Tarkasteltavina ovat perus- ja lisätoimenpiteet sekä erityistuet. Maatalouden kokonaistuotosta ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä muodostuu viljatililla 8-11 %, sikatiloilla 3-4 %, maito- ja nautatiloilla 5-6 % sekä puutarhatiloilla 7-8 %. Tukialueittaiset erot suhteessa kokonaistuottoon ovat pieniä. Maataloustuloon suhteutettuna ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteet ovat merkittävämpiä kasvinviljelytiloilla kuin kotieläintiloilla ja niiden merkitys on suurempi eteläisillä tukialueilla kuin pohjoisilla tukialueilla. Ympäristötuki on ollut 52 % maataloustulosta A-tukialueen viljatililla vuonna 2000 ja B-tukialueen viljatililla vuonna 2001. Puutarhatiloilla ympäristötuki on ollut 67 % maataloustulosta vuonna 2001 ja 37 % vuonna 2000. Kotieläintiloilla vuosittainen vaihtelu on ollut hyvin vähäistä. Sikatiloilla ympäristötuen %-osuus maataloustulosta on ollut noin 10-17 %, maitotiloilla 13-22 % ja nautatiloilla 14-35 %. Maatalouden ympäristötuen erityistuet ovat olleet 2-7 % niitä saaneiden tilojen kokonaistukipotista. Kokonaistuotosta erityistuet ovat olleet 1-5 %. Maataloustuloon suhteutettuna erityistuet ovat olleet 3-23 %. Merkittävimpiä erityistuet ovat olleet nautakarjatililla. Tukialueittaisessa tarkastelussa erityistuet ovat olleet merkittävimmät maitotilojen eteläisimmillä tukialueilla ja viljatilojen pohjoisimmilla tukialueilla.

Avainsanat: maatilat, talous, ympäristötuki, FADN, ympäristötuki, maatalouden tukipolitiikka, tukimuodot, maataloustulo

The economic impacts of agri-environmental support in different support areas and production lines in the years 2000 and 2001

Kauko Koikkalainen and Jussi Lankoski

MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki, kauko.koikkalainen@mtt.fi, jussi.lankoski@mtt.fi

Abstract

We analyse in this study the economic significance of agri-environmental support in different support areas and production lines. We assess the share of basic and additional measures as well as the share of special environmental support of total return, total support and farm income. In addition, we examine some incentive problems relating to high area payments for crops and farmers' willingness to establish buffer zones. Our results show that in total return the basic and additional measures support constitutes 8-11% in cereal farms, 3-4% in hog farms, 5-6% in dairy and cattle farms, and 7-8% in horticultural farms. The share of basic and additional measures in farm income is the highest in horticultural and cereal farms. Special environmental support represents 1-5% in total return and 3-23% in farm income in those farms, which participate in special measure support.

Key words: farm economy, FADN, environmental support, agricultural support regions

Johdanto

Maatalouden ympäristöohjelma 2000 - 2006 perustuu Neuvoston asetukseen (EY) N:o 1257/1999) Euroopan maatalouden ohjaus- ja tukirahaston tuesta maaseudun kehittämiseen. Ohjelmaan liittyminen on viljelijöille vapaaehtoista. Ohjelman perus- ja lisätoimenpiteet on laadittu sellaisiksi, että useimmilla viljelijöillä olisi taloudelliset kannustimet liittyä ohjelmaan. Erityistukisopimukset ovat nimensä mukaisesti sellaisia, että ne koskettavat vain osaa viljelijöistä tai ovat alueellisesti rajattuja. Maatalouden ympäristöohjelma koskee pääasiassa peltoviljelyä ja kotieläintuotantoa sekä maatalousympäristöön liittyvää maisemaa ja luonnon monimuotoisuutta. Myös joutomaa tai metsä saattaa joissakin tapauksissa tulla kyseeseen. Maatalouden ympäristöohjelmaan liittymisen ehdoista säädetään Valtioneuvoston asetuksessa 644/2000 (muutettu 449/2001, 1220/2001, 361/2002 ja 825/2002) ja MMM:n asetuksessa 646/2000 (muutettu 1207/2001, 1278/2001, 398/2002 ja 786/2002) samoin kuin maksettavista tukisummista.

Tässä tutkimuksessa analysoidaan maatalouden ympäristötuen taloudellista merkitystä erilaisilla tiloilla ja eri osissa maata. Tarkasteltavina ovat sekä perus- että lisätoimenpiteet sekä erityistuet. Tarkastelu tehdään erittelemällä perus- ja lisätoimenpiteet erityistuista, koska käytettävissä oleva FADN- kirjanpito-aineisto antaa siihen mahdollisuuden. Tarkastelu kattaa viljan-, maidon- ja sianlihantuotannon, muun nautakarjatuotannon sekä puutarhatuotannon. Käytetty aluejaotus on maatalouden tukialuejaon mukainen eli maa on jaettu kolmeen päätukialueeseen; A-, B- ja C -tukialue. C- tukialue jakaantuu edelleen viiteen pienempään tukialueeseen C1-, C2-, C2P-, C3- ja C4 -tukialue. Sinänsä alueittainen tarkastelu ei tuo ympäristötuen tulovaikutuksesta kovin paljon lisätietoa, koska nykyisen ympäristötukijärjestelmän mukaisista toimenpiteistä maksetaan samansuuruista korvausta koko maassa. Oletettavasti tuen merkitys on kuitenkin suurempi pohjoisilla tukialueilla, koska siellä satotasot ja sitä kautta kasvinviljelyn tuotot ovat pienempiä ja ympäristötuki maksetaan pinta-alaperusteisesti.

Pelkkä tilatason tulovaikutuksen tarkastelu ei kuitenkaan anna tyhjentävää vastausta ympäristötuen taloudellisesta merkityksestä, koska ympäristötukijärjestelmän ehtojen noudattaminen aiheuttaa tiloille lisäkustannuksia. Tarkastelussa olevien suorien tukituottojen lisäksi nettotuottoa (tuotokustannukset) voivat lisätä myös mahdolliset kustannussäästöt ja/tai panosten käytön parempi tehokkuus. Epäsuoriksi tuotoiksi voidaan lukea lisäksi tuotannon parempi laatu ja hyvä imago sekä pitkällä tähtäyksellä tuotannon kestävyys, suunnitelmallisuus ja terveystuottojen väheneminen. Suoria kustannuksia ovat alentunut sato- tai tuotostaso (tulonmenetykset), tarvittavat ympäristöinvestoinnit, suunnittelun ja työnjohdon sekä muun työnmenekin lisääntyminen sekä varsinaisten kriteerien aiheuttamat kustannukset. Epäsuoria kus-

tannuksia aiheutuu lisäksi mm. ajallisuuskustannuksista työmäärän lisääntymisessä ja hallinnollisista kustannuksista. (MMM 1999). Tässä tutkimuksessa käytettävissä olevalla tutkimusaineistolla ei kuitenkaan voida tarkastella ympäristötuen kustannusvaikutuksia.

Aineisto ja menetelmät

Ympäristötuki

Ympäristötuki koostuu perus- ja lisätoimenpiteiden tuesta sekä erityistukisopimusten perusteella maksettavasta tuesta. Ympäristötuella korvataan viljelijälle ympäristönsuojelu- ja maisemanhoitotoimenpiteistä aiheutuvia kustannuksia ja tulonmenetyksiä sekä maksetaan enintään 20 % kannustinta ohjelmaan liittymiseksi. Ympäristötuen kokonaismäärä vuositasolla on noin 250 milj. euroa, josta noin 200 milj. euroa maksetaan perus- ja lisätoimenpiteiden toteuttamisesta ja noin 50 milj. euroa erityistoimenpiteistä.

Perustoimenpiteet

Perustoimenpiteisiin kuuluvat seuraavat toimet:

- viljelyn ympäristösuunnittelu ja seuranta (viljelysuunnitelma, viljavuustutkimus, lohko-kohtaiset muistiinpanot ja viljelijäkoulutus)
- peltokasvien peruslannoitus
- kasvinsuojelu
- pientareet ja suojakaistat
- luonnon monimuotoisuuden ja maiseman ylläpitäminen
- kotieläintilan perustoimenpiteet, jos hakija on sitoutunut kotieläintilaa koskeviin ehtoihin (tuotantoeläimiä vähintään 0,4 ey/ha)

Perustoimenpiteiden tukea maksetaan tavanomaisille peltoviljelykasveille kasvinviljelytilalla 93,34 euroa/ha ja 116,89 euroa/ha kotieläintilalla. Puutarhakasveille maksettava perustoimenpiteiden tuki on joko 333,01 euroa/ha (koristekasvit, vihannekset, siemenmausteet ja lääkekasvit) tai 484,38 euroa/ha (marja-, hedelmä- ja taimitarhakasvit).

Lisätoimenpiteet

Perustoimenpiteiden lisäksi maatalouden ympäristötukeen liittyvän viljelijän on toteutettava vähintään yhtä lisätoimenpidettä koko viisivuotisen sitoumuskauden ajan.

Lisätoimenpiteeksi viljelijä voi valita jonkin seuraavista toimenpiteistä kasvinviljelytilalle:

- tarkennettu lannoitus
- peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys ja kevennetty muokkaus
- maatilan monimuotoisuuskohteet

ja seuraavista toimenpiteistä kotieläintilalle:

- lantalan ammoniakkipäästöjen vähentäminen
- lannan kaasujen talteenotto
- tuotantoeläinten hyvinvoinnin edistäminen
- maitohuoneen pesuvesien käsitteleminen

sekä puutarhailloille:

- tarkennettu ravinteiden seuranta
- typpilannoituksen tarkentaminen liukoisen typen mittauksen avulla
- katteen käyttö monivuotisten puutarhakasvien rikkakasvintorjunnassa

Valittua lisätoimenpidettä on pääsääntöisesti toteutettava koko viisivuotisen sopimuskauden ajan. Kasvinviljely- ja kotieläintilan lisätoimenpiteelle maksetaan joko 13,46 euron tai 23,46 euron hehtaarikorvaus. Puutarhailloille maksetaan 13,36 – 243,87 euron hehtaarikorvaus lisätoimenpiteestä riippuen.

Erityistukisopimukset

Erityistukisopimuksia tehdään seuraavista toimenpiteistä:

- suojavaivohyökkien perustaminen ja hoito (korvaus 449,90 euroa/ha)

- kosteikon ja laskeutusaltan perustaminen ja hoito (korvaus peltoalalta 449,90 euroa/ha ja muulta alalta 336,38 euroa/ha)
- muut valumavesien käsittelymenetelmät (säättösalaojitus, säätökastelu ja kuivatusvesien kierrätys; korvaus kaikista 156,41 euroa/ha)
- luonnonmukainen tuotanto (korvaus 102,59 tai 147,16 euroa/ha)
- pohjavesialueiden peltoviljely (korvaus 112,69 euroa/ha)
- lannan käytön tehostaminen (korvaus 65,59 euroa/ha)
- perinnebiotoopit (korvaus 420,47 euroa/ha)
- muu luonnon monimuotoisuus (korvaus 449,90 euroa/ha)
- maiseman kehittäminen ja hoito (korvaus 336,38 euroa/ha)
- alkuperäisrotujen kasvattaminen (korvaus 168,19 euroa/ey)
- alkuperäiskasvien kasvattaminen (korvaus 428,88 euroa/ha)
- happamuuden alueellinen vähentäminen (kalkkisuodinojitus; korvaus 252,28 euroa/ha, tehostettu peltojen kalkitus; korvaus 84,09 euroa/ha)

Tutkimusaineisto

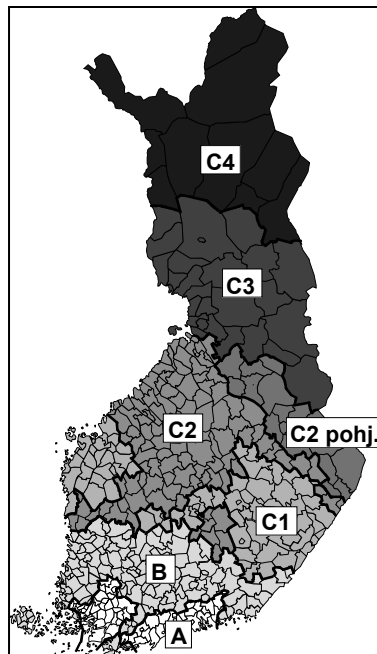
Tutkimusaineistona käytetään FADN -kirjanpito-tila-aineiston tietoja painotettuna koko Suomen aktiivituloja kuvaavaksi. Käytettävä FADN -kirjanpitoaineisto (Farm Accountancy Data Network) on EU:n komission ylläpitämä jäsenmaiden maatiloista koostuva kirjanpidon tietoverkko Suomen osalta. Järjestelmän tarkoituksena on koota objektiivista ja tarkoituksenmukaista tilakohtaista tietoa eri maatilaryhmien tuloista ja taloudellisesta toiminnasta. Tietojen keruu perustuu tiloilla pidettävään kirjanpitoon. Tilojen osallistuminen kirjanpitoon on vapaaehtoista. Jäsenmaiden viranomaisten tehtävänä on valita järjestelmään osallistuvat tilat siten, että ne edustavat riittävän kattavasti kunkin maan maataloutta. EU:n komissio kokoaa ja julkaisee jäsenmaiden toimittamat tiedot.

Jokaisessa EU:n jäsenmaassa on FADN -järjestelmästä vastaava elin (Liaison Agency), jonka tehtävänä on kirjanpitojärjestelmän ylläpitäminen ja tarvittavien tietojen toimittaminen komissiolle. Suomen kirjanpitoaineistossa on vuosittain mukana noin 1 000 päätoimista maatilaa. MTT Taloustutkimus vastaa Suomen kirjanpitoaineiston ylläpidosta.

Ympäristötuen merkitystä eri tuotantosuunnissa tarkasteltiin maatalouden tukialuejaon mukaisesti. Tukialuejako selviää kuvasta 1.

Tarkastelussa olevat tuotantosuunnat tukialueittain ovat seuraavat:

- viljatilat: A-, B-, C1- ja C2-tukialueet
- maitotilat: A-, B-, C1-, C2-, C2P-, C3- ja C4-tukialueet
- lihasikatilat: A-, B-, C1- ja C2-tukialueet
- muut nautakarjatilat: yhdistettynä A- ja B-tukialue, erikseen C1-tukialue sekä yhdistettynä C2-, C2P- ja C3-tukialueet
- puutarhatilat: koko maa yhdistetty



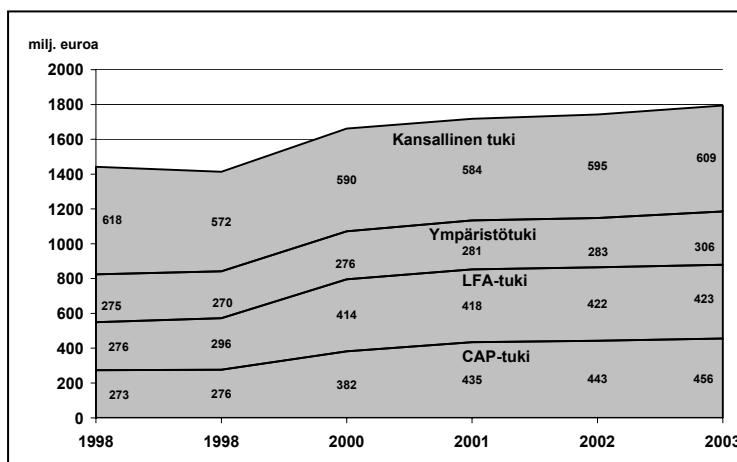
Kuva 1. Maatalouden tukialueet (Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 2003).

Figure 1. Agricultural support areas in Finland. (Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 2003).

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteiden osuus maatalouden kokonaistuesta, kokonaistuotosta ja maataloustulosta

Suomessa maataloustuen merkitys maatalouden tulonmuodostuksesta on epäsuotuisista luonnonoloista johtuen selvästi suurempi kuin muissa EU-maissa. Vuonna 2002 tukien kokonaismäärä oli yli 1,7 mrd. euroa, mikä oli yli 44 % maa- ja puutarhatalouden kokonaistuotosta. Osa tuesta on EU:n yhteisen maatalouspolitiikan säännösten perusteella maksettavaa tukea ja osa on kansallisista varoista maksettavaa tukea. Kuvasta 2 voidaan todeta maatalouden saaman kokonaistuen lisääntyneen hieman viime vuosina. Ympäristötuen määrä on myös lisääntynyt hieman viime vuosina, mutta kokonaistuen kasvua hitaammin, joten sen suhteellinen osuus kokonaistuesta on pienentynyt. Ympäristötuen osuus on noin 16 % kokonaistuesta.

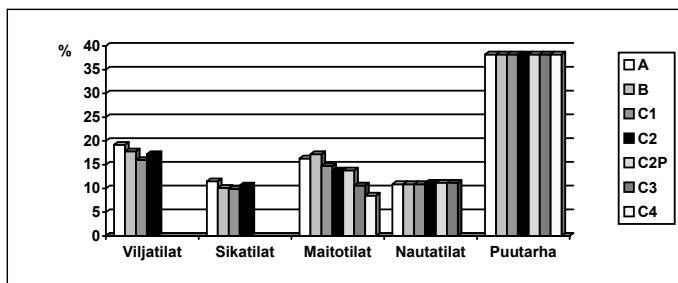


Kuva 2. Maatalouden eri tukilajien osuudet vuosina 1998-2003. (Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 2003).

Figure 2. The share of different support payments in the years 1998-2003. (Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 2003). "Kansallinen tuki" refers to national support, "Ympäristötuki" refers to environmental support, "LFA-tuki" refers to less favoured area support, and "CAP-tuki" refers to CAP compensation payments.

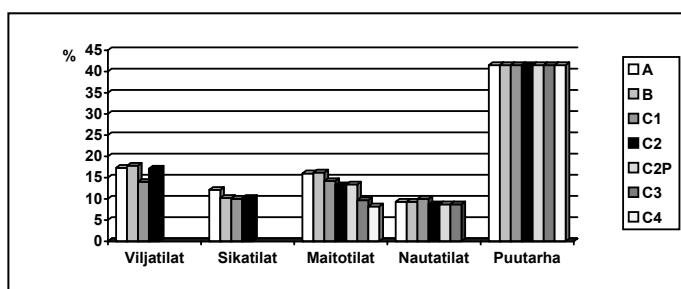
Tuotantosuunnittain tarkasteltuna ympäristötuen perustuki muodostaa merkittävimmän osan kokonaistuesta, 35 %, puutarhatiloilla. Seuraavaksi merkittäv in ympäristötuen suhteellinen osuus kokonaistuesta on viljatililla sekä A-

ja B-tukialueen maitotiloilla. Sika-, nautakarja ja C-alueen maitotiloilla ympäristötuen perustuki on noin 10 % kokonaistuesta. (Kuvat 3 ja 4, Taulukko1)



Kuva 3. Ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteiden tuen osuus kokonaistuesta vuonna 2000 eri tuotantosunnissa ja tukialueilla (A-C4).

Figure 3. The share of basic and additional measure support in total support in different production lines and support areas (A-C4) in the year 2000. Production lines: "Viljatilat" refers to cereal farms, "Sikatilat" refers to hog farms, "Maitotilat" refers to dairy farms, "Nautatilat" refers to cattle farms and "Puutarha" refers to horticultural farms.

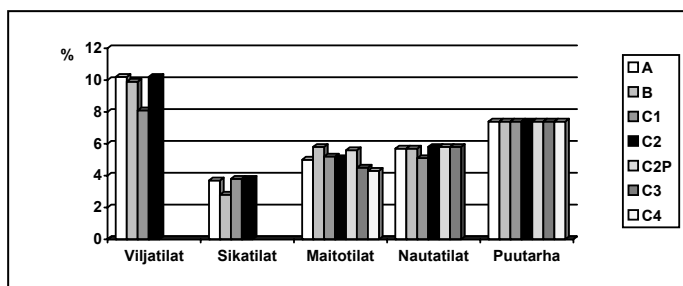


Kuva 4. Ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteiden tuen osuus kokonaistuesta vuonna 2001 eri tuotantosunnissa ja tukialueilla (A-C4).

Figure 4. The share of basic and additional measures support in total support in different support areas (A-C4) and production lines in the year 2001. For explanation see Figure 3.

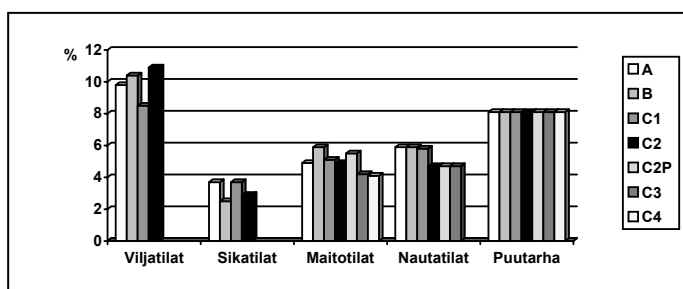
Maatalouden kokonaistuotto on maataloudessa tilivuoden aikana tuotettujen lopputuotteiden ja etuuskien arvo. Kokonaistuotto sisältää myyntitulot, viljelijäperheen maataloustuotteiden oman käytön arvon sekä investointitukia lukuun ottamatta maatalouden kaikki tuet.

Maatalouden kokonaistuotosta ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteiden tuki on viljatililla noin 10 %, puutarhailloilla 7 %, maito- ja nautanlihatalloilla 5 % ja sikatalloilla alle 4 %. (Kuvat 5 ja 6).



Kuva 5. Ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteiden tuen osuus kokonaistuotosta vuonna 2000 eri tuotantosuunnissa ja tukialueilla (A-C4).

Figure 5. The share of basic and additional measures support in total return in different production lines and support areas (A-C4) in the year 2000. For explanation see Figure 3.



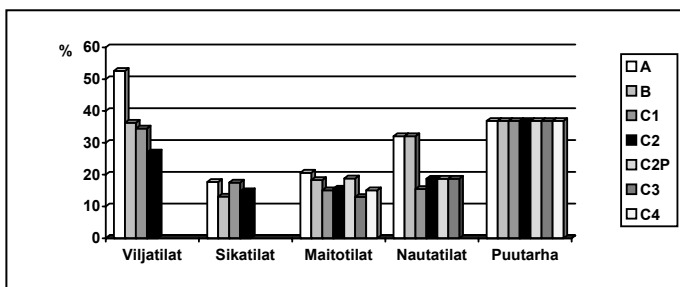
Kuva 6. Ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteiden tuen osuus kokonaistuotosta vuonna 2001 eri tuotantosuunnissa ja tukialueilla (A-C4).

Figure 6. The share of basic and additional measures support in total return in different production lines and support areas (A-C4) in the year 2001. For explanation see Figure 3.

Maataloustulo eli maatalouden yrittäjätulo jää yrittäjäperheen palkaksi ja oman pääoman koroksi. Koska maataloustuloa laskettaessa ei oteta huomioon yrittäjäperheen tekemän työn ja pääoman käyttömääriä, maataloustulo ei kuvaa yksittäisen yrityksen yritystoiminnan kannattavuutta eikä kannattavuuskehitystä, sillä yrittäjäperheen tekemän työn ja oman pääoman käyttö saattaa muuttua edellisistä vuosista esim. maatilayritystä laajennettaessa. Koko maatalouden tasolla pääoman ja työn käyttömäärät eivät kuitenkaan muutu kovin nopeasti, minkä vuoksi suurissa keskiarvotarkasteluissa maataloustulonkin kehityksestä voidaan tehdä johtopäätöksiä yritystoiminnan kannattavuuskehityksestä. Tilakohtainen kannattavuuskehitys nähdään kuitenkin vasta, kun oman pääoman ja työn käyttömäärät ja niissä tapahtuvat muutokset otetaan huomioon.

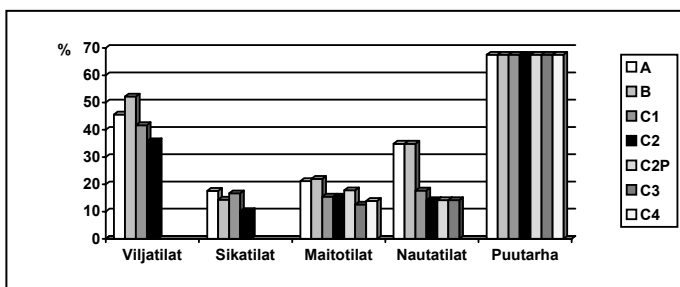
Verrattaessa ympäristötuen perustukea maataloustuloon havaitaan, että vilja- ja puutarhailoilla ympäristötuen perustuki on ollut jopa yli 50 % maataloustulosta. Sika- ja maitotiloilla samoin kuin C-tukialueen nautatiloilla ympäris-

tötuen perustuen osuus maataloustulosta on ollut alle 20 %. A- ja B-tukialueen nautakarjatiljoilla ja C-tukialueen viljatiljoilla ympäristötuen perustuen osuus maataloustulosta on ollut noin 30 %. (Kuvat 7 ja 8). Vuonna 2000 ympäristötuen perustuen osuus maataloustulosta on ollut noin 10 % pienempi viljatiljoilla A-tukialuetta lukuun ottamatta kuin vuonna 2001, mikä selittyy sillä, että vuosi 2000 oli huomattavasti parempi satovuosi. Puutarhataljoilla on havaittavissa samanlainen vuosivaihtelu.



Kuva 7. Ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteiden tuen osuus maataloustulosta vuonna 2000 eri tuotantosuunnissa ja tukialueilla (A-C4).

Figure 7. The share of basic and additional measures support in farm income in different production lines and support areas in the year 2000.



Kuva 8. Ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteiden tuen osuus maataloustulosta vuonna 2001 eri tuotantosuunnissa ja tukialueilla (A-C4).

Figure 8. The share of basic and additional measures support in farm income in different production lines and support areas (A-C4) in the year 2001.

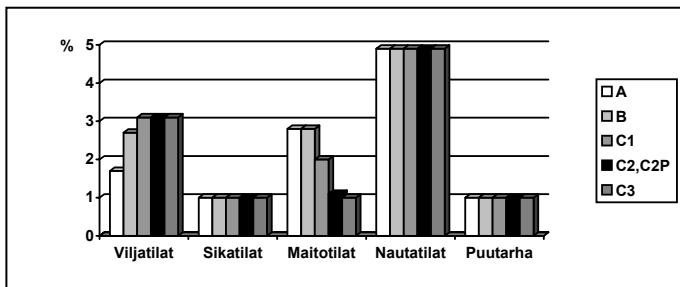
Taulukko 1. Ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteiden osuus maatalouden kokonaistuotosta, kokonaistuesta ja maataloustulosta tukialueittain ja tuotantosuunnittain vuosina 2000 ja 2001.

Table 1. The share of basic environmental support in total return, total support and farm income in different production lines in the years 2000 and 2001.

Tuotanto- suunta <i>Production line</i>	%osuus kokonaistuotosta <i>% of total return</i>		% osuus kokonaistuesta <i>% of total support</i>		%osuus maataloustulosta <i>% of farm income</i>	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Viljatilat <i>Cereal farms</i>						
A	10,2	9,8	19,2	17,3	52,6	45,6
B	9,9	10,4	17,8	17,8	36,3	52,2
C1	8,1	8,5	16,0	14,0	34,5	41,7
C2	10,2	10,9	17,2	17,1	27,0	35,8
Sikatilat <i>Hog farms</i>						
A	3,7	3,7	11,5	12,1	17,7	17,6
B	2,8	2,5	10,1	10,2	13,1	14,4
C1	3,8	3,7	9,9	10,0	17,5	16,7
C2	3,8	2,9	10,6	10,2	14,8	10,2
Maitotilat <i>Dairy farms</i>						
A	5,0	4,9	16,3	16,0	20,6	21,2
B	5,8	5,9	17,2	16,2	18,3	22,0
C1	5,2	5,1	14,7	14,2	15,1	15,5
C2	5,1	4,9	13,8	13,2	15,6	15,5
C2P	5,6	5,5	13,8	13,4	18,8	17,8
C3	4,5	4,2	10,6	9,7	13,0	12,6
C4	4,3	4,1	8,5	8,2	15,1	13,9
Nautakarja <i>Cattle farms</i>						
A,B	5,7	5,9	10,9	9,3	32,1	34,9
C1	5,1	5,8	10,9	10,0	15,5	17,7
C2, C2P, C3	5,8	4,7	11,2	8,7	18,7	14,2
Puutarha <i>Horticulture</i>	7,4	8,1	38,2	41,5	36,9	67,5

Erityistukien taloudellinen merkitys

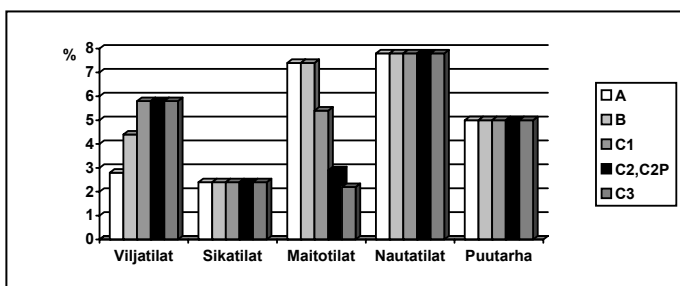
Maatalouden ympäristötuen erityistuista koostuu 1-5 % maatalouden kokonaistuotosta tuotantosuunnasta ja tukialueesta riippuen. Merkittävimpiä erityistuet näyttäisivät olevan nautakarjatiloilte. Sikatilojen ja puutarhatilojen kokonaistuotosta vain yksi prosentti muodostuu maatalouden ympäristötuen erityistuista (Kuva 9 ja Taulukko 2).



Kuva 9. Ympäristötuen erityistuen osuus kokonaistuotosta eri tukialueilla (A-C3) ja tuotantosuunnissa vuosina 2000 ja 2001.

Figure 9. The share of special environmental support in total return in different production lines and support areas (A-C3) in the years 2000 and 2001.

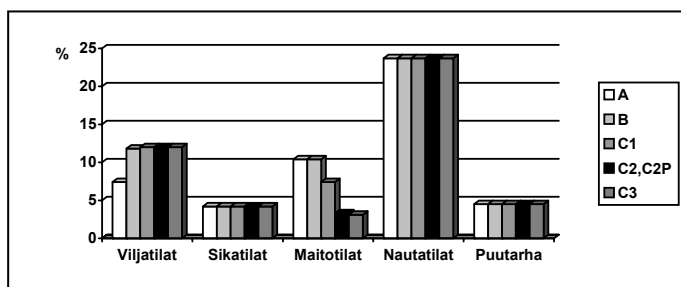
Maatalouden kokonaistuesta ympäristötuen erityistukien osuus on 2-8 % tuotantosuunnasta ja tukialueesta riippuen. Erityistukien osuus on suurin nautakarjatiloilta ja A- ja B- tukialueen maitotiloilla. Pienin erityistukien suhteellinen osuus kokonaistuesta on A-alueen viljatioilla, sikatiloilla ja C-alueen maitotiloilla (Kuva 10)



Kuva 10. Ympäristötuen erityistuen osuus kokonaistuesta eri tukialueilla (A-C3) ja tuotantosuunnissa vuosina 2000 ja 2001.

Figure 10. The share of special environmental support in total support in different support areas (A-C3) and production lines in the years 2000 and 2001.

Maataloustuloon suhteutettuna ympäristötuen erityistuet ovat 5-23 %. Suurin suhteellinen osuus on nautakarjatiljoilla ja pienin sika- ja puutarhatiloilla sekä C-alueen maitotiloilla (Kuva 11).



Kuva 11. Ympäristötuen erityistuen osuus maataloustulosta eri tuotantosuunnissa ja tukialueilla (A-C3) vuosina 2000 ja 2001.

Figure 11. The share of special environmental support in farm income in different support areas (A-C3) and production lines in the years 2000 and 2001.

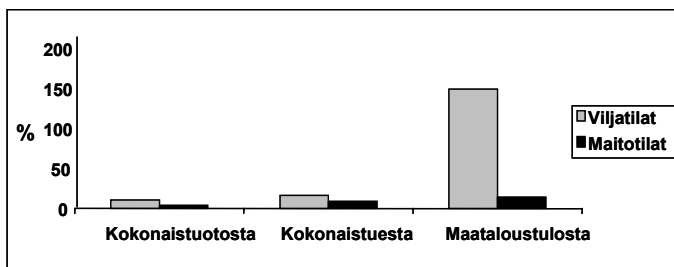
Taulukko 2. Ympäristötuen erityistukien (muut kuin luomutuotanto) osuus maatalouden kokonaistuotosta, kokonaistuesta ja maataloustulosta vuosina 2000-2001 keskimäärin.

Table 2. The average share of special environmental support (subsidy for organic production excluded) in total return, total support and farm income in alternative production lines in the years 2000 and 2001.

Tuotanto-suunta <i>Production line</i>	%-osuus kokonaistuotosta <i>% of total return</i>	%-osuus kokonaistuesta <i>% of total support</i>	%-osuus maataloustulosta <i>% of farm income</i>
Viljatilat			
A	1,7	2,8	7,4
B	2,7	4,4	11,8
C1.C2.C3	3,1	5,8	12,0
Sikatilat	1,0	2,4	4,2
Maitotilat			
A.B	2,8	7,4	10,4
C1	2,0	5,4	7,4
C2.C2P	1,1	2,9	3,3
C3	1,0	2,2	3,1
Nautatilat	4,9	7,8	23,7
Puutarha	1,0	5,0	4,5

Luomutuen merkitys erityistuen osana

Luomutuki on kokonaismäärältään merkittävin yksittäinen erityistukimuoto. Luonnonmukaista tuotantoa harjoittavia tiloja on hieman yli 5000. Luomutuen osuus luomuviljatilojen kokonaistuotosta on ollut noin 10 % ja kokonaistuesta noin 15 %. Luomumaitotilojen vastaavat luvut ovat 3 % ja 8 %. Luomutuki on ollut luomuviljailloilla noin 50 % suurempi kuin maataloustulo. Luomumaitotiloilla luomutuki on jäänyt noin 15 % maataloustulosta. (Kuva 12).



Kuva 12. Luomutuen %-osuus kokonaistuotosta, kokonaistuesta ja maataloustulosta luomuvilja- ja luomumaitotiloilla.

Figure 12. The share of organic production subsidy in total return, total support and farm income in organic cereal and dairy farms.

Erityisympäristötukien tarjoamat taloudelliset kannustimet – esimerkkinä suojavyöhyketuki

Maatalouden ympäristötuen erityistoimenpiteiden tarjoamia taloudellisia kannustimia ja kompensaatiotasojen riittävyyttä voidaan tarkastella hyödyntäen katetuottolaskelmia (laskelmien perusteet löytyvät esimerkiksi julkaisusta: MKL 2002). Suojavyöhykkeiden tapauksessa tukitason tulee olla niin suuri, että se kattaa nettotuoton menetyksen (myyntituotto vähennettynä muuttuvilla kustannuksilla) ja kaikki tuet, jotka kyseisellä loholla viljeltävälle kasville maksetaan. Vaihtoehtoisesti voimme puhua suojavyöhykealalta menetetyistä katetuotosta eli vaihtoehtoistuotosta (kokonaistuotto kasvinviljelystä mukaan lukien tuet – muuttuvat kustannukset). Taulukossa 3 on otettu huomioon se, että suojavyöhykealalle voidaan maksaa LFA -tuki ja rehunurmen kansallinen tuki. Kate A kuvaa suojavyöhykealalta menetettyä vaihtoehtoistuottoa (Kate B:ssä on huomioitu muuttuvien kustannusten lisäksi myös työkustannus). Keskimääräisellä satotasolla tehtyjen katetuottolaskelmien perusteella näyttää siltä, että suojavyöhykkeen perustaminen nykyisellä tukitasolla on kannattava vaihtoehto ainoastaan avokesannolle, CAP-viherkesannolle ja laitumelle.

Taulukko 3. Suojavyöhykealalta menetettävä vaihtoehtoistuotto €/ha eri kasveilla ja tukialueilla (Haataja & Lankoski 2003).

Table 3. Net loss of gross margin per hectare of established buffer zone, €/ha, in different agricultural support areas and crops (Haataja and Lankoski 2003). Kate A refers to the total return minus variable costs and Kate B to the total return minus variable costs minus labour costs. Crops are CAP -green fallow, CAP -fallow, pasture, barley, silage, oats, rye, wheat, hay seed, rape, dry hay, sugar beet, and potato, respectively.

Kasvi crop	Tuki- alue A area		Tuki- alue B area		Tuki- alue C1 area		Tuki- alue C2 area		Tuki- alue C3 area		Tuki- alue C4 area	
	Kate A	Kate B	Kate A	Kate B	Kate A	Kate B	Kate A	Kate B	Kate A	Kate B	Kate A	Kate B
CAP- vihherkesanto	249	306	286	343	286	343	283	340	267	324	216	273
Avokesanto	229	297	266	334	266	334	263	331	247	315	196	264
Laidun	-25	89	-25	89	76	190	42	156	26	140	-25	89
Rehuohra	-89	48	-42	95	-42	95	-36	101	-52	85	-103	34
Säilörehu	-149	-13	-137	-1	-111	25	-114	22	-130	6	-181	-45
Rehukaura	-93	44	-46	91	-46	91	-40	97				
Ruis	-177	-30	-114	33	-105	42	-99	48				
Kevätvehnä	-200	-63	-153	-16	-153	-16	-147	-10				
Timotein siemen	-198	-39	-198	-39	-198	-39	-232	-73				
Kevätrypsi	-347	-210	-300	-163	-291	-154	-218	-81				
Kuivaheinä	-362	-169	-362	-169	-261	-68	-295	-102	-311	-118	-362	-169
Sokerijuurikas	-715	-408	-715	-408	-715	-408	-749	-442				
Peruna	-1914	-1119	-1914	-1119	-1914	-1119	-1948	-1153				

Kaikilla muilla kasveilla tukitaso ei riitä kompensoimaan menetettyjä vaihtoehtoistuottoja.

Mikäli kasveille ei maksettaisi pinta-ala perusteista tukea niin esimerkiksi rehuohran tapauksessa tukialueella A riittäisi tukitaso 202 euroa/ha suojavyöhykkeen perustamiseen. Nykyisellä suojavyöhykkeen tukitasolla 450

euroa/ha sitä ei kuitenkaan kannata perustaa, koska hehtaarituet lisäävät menetettyä vaihtoehtoistuottoa. Korkeat hehtaarituet luovat siis kannustinloukun sellaisten ympäristötoimenpiteiden suhteen, jotka vievät peltopinta-alaa pois tuotannosta, joista esimerkkeinä ovat suojavyöhykkeet ja kosteikot. Kannustinmekanismi on seuraava: mitä suuremmat pinta-alaperusteiset tuet pelto- kasveille maksetaan sitä kalliimmaksi yhteiskunnalle tulee vuokrata tämä pinta-ala ympäristönsuojelulle kuten suojavyöhykkeille.

Johtopäätökset

Maatalouden ympäristötuella on suuri taloudellinen merkitys suomen maataloudessa kaikissa tuotantosuosunnissa koko maassa. Ilman ympäristötukea tai muuta vastaavaa korvausta maatalouden harjoittaminen ei olisi kovin monella tilalla taloudellisesti mielekästä. Vaikka ympäristötuki on keskimäärin noin 16 % maatalouden saamasta kokonaistuesta, on sen osuus puutarhatilojen kokonaistuesta noin 40 %.

Maatalouden kokonaistuotosta ympäristötuesta muodostuu viljatiloiilla 8-11 %, sikatiloilla 3-4 %, maito- ja nautatiloilla 5-6 % sekä puutarhatiloilla 7-8 %. Tukialueittaiset erot suhteessa kokonaistuottoon ovat pieniä. Maataloustuloon suhteutettuna ympäristötuki on merkittävämpi kasvinviljelytiloilla kuin kotieläintiloilla ja sen merkitys on suurempi eteläisillä tukialueilla kuin pohjoisilla tukialueilla. Ympäristötuki on ollut 52 % maataloustulosta A-tukialueen viljatiloiilla vuonna 2000 ja B-tukialueen viljatiloiilla vuonna 2001. Puutarhatiloilla ympäristötuki on ollut 67 % maataloustulosta vuonna 2001 ja 37 % vuonna 2000. Kotieläintiloilla vuosittainen vaihtelu on ollut hyvin vähäistä. Sikatiloilla ympäristötuen %-osuus maataloustulosta on ollut 10-17 %, maitotiloilla 13-22 % ja nautatiloilla 14-35 %.

Maatalouden ympäristötuen erityistuet ovat olleet 2-7 % niitä saaneiden tilojen kokonaistukipotista. Kokonaistuotosta erityistuet ovat olleet 1-5 %. Maataloustuloon suhteutettuna erityistuet ovat olleet 3-23 %. Merkittävimpiä erityistuet ovat olleet nautakarjatiloiilla. Tukialueittaisessa tarkastelussa erityistuet ovat olleet merkittävimmät maitotilojen eteläisimmillä tukialueilla ja viljatilojen pohjoisimmilla tukialueilla. Sika-, nauta- ja puutarhatiloista ei voitu tehdä tukialueittaista tarkastelua pienestä tilamäärästä johtuen. Luomutuki on kokonaissummaltaan suurin yksittäinen erityistukimuoto. Luomutuella on ollut erittäin suuri merkitys luomuviljelijöiden taloudelle. Luomumaitotilojen talouteen luomutuella ei ole ollut yhtä suurta vaikutusta. Maatalouden erityisympäristötukien kannustavuus ei ole ollut riittävän suuri houkuttelemaan viljelijöitä liittymään erityistukitoimenpiteisiin, koska useimpien viljelyvaihtoehtojen vaihtoehtoistuotot ovat olleet laskennallisesti suurempia ja siten viljelijälle kannattavampia vaihtoehtoja. Ympäristönsuojelun kannalta sellaisia erityistukimuotoja tulisikin tukea nykyistä enemmän, jotka on todet-

tu tehokkaiksi toimenpiteiksi, mutta vaihtoehtoistuotoltaan liian kalliiksi viljelijöille, jotta heillä olisi motivaatiota toteuttaa ko. ympäristötoimenpide.

Maatalouden ympäristötukijärjestelmän mukainen tuki on suurelta osin korvausta toteutetuista ympäristötoimenpiteistä aiheutuneista kustannuksista, ja olisi mielekkäämpää tarkastella tuottoja suhteessa näistä toimenpiteistä aiheutuneisiin kustannuksiin, mutta käytettävissä olevat tilastoaineistot eivät anna siihen mahdollisuutta.

Kirjallisuus

Haataja, K. & Lankoski, J. 2003. Suojavyöhykealalta menetettävä vaihtoehtoistuotto. Julkaisemattomat laskelmat.

MKL 2002. ProAgria Maaseutukeskusten Liitto: Mallilaskelmia maataloudesta 2002. Maaseutukeskusten Liiton julkaisu nro 985. Helsinki: MKL 48 s.

MMM 1999:13. Ehdotus maatalouden ympäristötukiohjelmaksi 2000-2006. Työryhmämuistio MMM 1999:13. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 66 s.

MMM:n asetus 30.6.2000/646 ja sen muutokset 21.12.2000/1207, 14.12.2001/1278, 24.5.2002/398 ja 18.9.2002/786. Maa- ja metsätalousministeriön asetus ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä sekä maatalouden ympäristötuen koulutukseen liittyvästä tuesta. Annettu Helsingissä 30.6.2000. Viitattu 9.11.2004. Saatavissa internetistä: http://www.finlex.fi/index.phd?CONTENT=content.html&SELECTED_MENU=saadokset

Niemi, J. & Ahlstedt, J. (toim.) 2003. Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 2003. MTT Taloustutkimus (MTTL) julkaisu nro 103. Helsinki: MTT. 94 s.

Valtioneuvoston asetus 5.7.2000/644 ja sen muutokset 6.6.2001/449, 17.12.2001/1220, 20.5.2002/361 ja 3.10.2002/825. Valtioneuvoston asetus luonnonhaittakorvauksesta ja maatalouden ympäristötuesta. Viitattu 9.11.2004. Saatavissa internetistä: http://www.finlex.fi/index.phd?CONTENT=content.html&SELECTED_MENU=saadokset

Sadon laadun seuranta

Tapio Salo¹⁾, Juha Eskelinen¹⁾, Lauri Jauhiainen²⁾ ja Mirja Kartio³⁾

¹⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Ympäristöntutkimus, 31600 Jokioinen, tapio.salo@mtt.fi,

²⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Tietopalvelut, 31600 Jokioinen, lauri.jauhiainen@mtt.fi

³⁾ Kasvintuotannon tarkastuskeskus (KTTK), Viljalaboratorio, PL 42, 00501 Helsinki, mirja.kartio@kttk.fi

Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitetään kirjallisuustutkimuksen ja Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen Viljalaboratorion Viljaotanta-aineiston avulla ympäristötuen mukaisten typpi- ja fosforilannoitustasojen vaikutusta viljakasvien tärkeimpiin laatutekijöihin. Typpilannoitustasot ovat alentuneet Viljaotanta-aineiston mukaan eri viljoilla 6-25 kg/ha ja fosforilannoitustasot vastaavasti 5-10 kg/ha. Kaikkien viljakasviemme hehtolitrin- ja tuhannen siemenen painot ovat olleet alhaisemmat vuosina 1995-2001 kuin 1990-1994. Alentuneet typpi- ja fosforilannoitus selittävät kuitenkin näiden laatutekijöiden heikkenemisestä vain pienen osan. Kirjallisuustutkimuksen mukaan typpilannoitustason aleneminen on havaittu selvimmin valkuaispitoisuuksissa ja fosforilannoituksen aleneminen ohran hehtolitrin- ja tuhannen siemenen painossa.

Avainsanat: ravinteet, typpi, fosfori, lannoitus, valkuaispitoisuus, viljakasvit, laatu, seuranta

Monitoring of yield quality

Tapio Salo¹⁾, Juha Eskelinen¹⁾, Lauri Jauhiainen²⁾ and Mirja Kartio³⁾

¹⁾ MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research FIN-31600 Jokioinen, Finland, tapio.salo@mtt.fi,

²⁾ MTT Agrifood Research Finland, Research Services FIN-31600 Jokioinen, Finland, lauri.jauhiainen@mtt.fi,

³⁾ Plant Production Inspection Centre, Grain Laboratory, PL 42, FIN-00501 Helsinki Finland, mirja.kartio@kttk.fi

Abstract

The effects of environmental programme and reduced fertilizer rates on the quality of cereals are monitored and estimated. The methods used are literature study and analysis of the results from annual survey of the Plant Production Inspection Centre. According to the annual surveys, nitrogen rate has decreased 6-25 kg/ha and phosphorus rate 5-10 kg/ha between the period of 1990-1994 and the period of the first environmental programme 1995-2001. In 1995-2001, hectolitre and 1000 kernels weight have been lower with all cereals compared to 1990-1994. This decrease is only very slightly explained by the decreased nitrogen and phosphorus rates. According to the literature study, the reduction of nitrogen rate is most easily observed in protein content and the reduction of phosphorus rate in hectolitre and 1000 kernels weight of barley.

Key words: nitrogen, phosphorus, fertilization, cereals, protein content

Johdanto

Ympäristötuen ehtojen mukaisen peruslannoituksen ja tarkennetun lannoituksen on eräissä arvioissa pelätty alentavan viljasadon laatua. Hankkeen tavoitteena on arvioida ja seurata ympäristötuen ehtojen mukaisten lannoitustasojen vaikutusta satotuotteiden laatuun. Kirjallisuustutkimuksen avulla selvitetään, miten alennetut lannoitustasot ovat kontrolloiduissa koeolosuhteissa vaikuttaneet satotuotteiden sisäiseen ja ulkoiseen laatuun. Kirjallisuustutkimuksen lisäksi verrataan Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen (KTTK) viljalaboratorion otantatutkimusten laatutuloksia ajanjaksoilta 1990-1994, 1995-1999 ja 2000-2006. Koska viljelymenetelmissä on tapahtunut muitakin muutoksia ympäristötukikausina, on tuloksia tarkasteltaessa pidettävä mielessä muutkin vuoden 1995 jälkeen Suomen maataloudessa tapahtuneet muutokset.

Aineisto ja menetelmät

Kirjallisuustutkimus

Kirjallisuustutkimuksen avulla arvioidaan ympäristötukiohjelmassa määritettyjen lannoitustasojen vaikutusta maataloustuotteiden laatuun. Kirjallisuustutkimuksessa keskitytään Suomessa ja pohjoismaissa tehtyihin tutkimuksiin. Viljelykasveista keskitytään kevät- ja syysvehnään, rukiiseen, kauraan, ohraan, rypsiin, perunaan ja nurmikasveihin.

Viljaotanta

KTTK:n viljalaboratorio on jo vuodesta 1966 seurannut viljasadon laatua. Laatureuranta perustuu viljelijöiden lähettämien viljanäytteiden analysointiin. Näytteistä määritetään mm. 1000 siemenen paino, itävyys, valkuaispitoisuus, rikkapitoisuus ja leipäviljojen sakoluku, sitkopitoisuus sekä zeleny-luku. Samalla tiloille lähetetään kyselylomake, jossa kysytään mm. maalaji, lajike ja lannoitus. Otannan keskiarvotulokset on julkaistu vuosittain (Valtion viljavarasto 1991, KTTK 1996-2002), mutta yksittäisten kyselytietojen kuten lannoitustasojen vaikutusta tulokseen ei ole analysoitu.

Tavoitteena on analysoida lannoitustasojen muutokset kasvilajeittain 1990-2006. Tilastollinen analyysimenetelmä valittiin analysoimalla vuosien 1990-2000 aineisto. Tilastollisessa analyysissä keskityttiin ensiksi selvittämään, olivatko typpi- ja fosforilannoitustasot muuttuneet vuosien 1990-2000 aikana. Tämän jälkeen analysoitiin muuttuneiden lannoitustasojen vaikutusta tärkeimpiin laatutekijöihin.

Tulokset

Kirjallisuustutkimus

Typpilannoituksen vähentyessä suurin vaikutus laatuun näyttää liittyvän luonnollisesti valkuaispitoisuuksien alenemiseen. Muutoin typpilannoituksen lisääntyminen on usein vähentänyt hehtoliträn- ja tuhannen siemenen painoa. Nurmillä typpilannoituksen alentaminen vähentää raakavalkuaisen määrää, mutta eläimet eivät useinkaan ole pystyneet hyötymään korkeasta raakavalkuaisen määrästä rehussa. Fosforilannoitus on ympäristötukikautena alentunut huomattavasti, keskimäärin 30:sta kg/ha 20:een kg/ha. Tutkimuksissa viljojen hehtolitränpainot ovat laskeneet kuitenkin vain hieman alhaisilla fosforilannoitustasoilla. Ohra näyttäisi reagoivan herkimmin fosforilannoituksen vähenemiseen. Esimerkiksi Saarelan ym. (1995) tuloksissa ohran hehtolitränpaino ilman fosforilannoitusta oli 2 % ja kauran vastaavasti 1 % alhaisempi kuin fosforilannoitetuissa käsittelyissä. Ohran tuhannen jyvän paino aleni ilman fosforilannoitusta 3-4 %. Jos nämä laatutekijöiden heikkenemiset suhteutetaan ympäristötuen aikana havaittuun fosforilannoituksen alenemiseen, fosforilannoituksen muutos voisi selittää vain alle 1:n g alenemisen tuhannen siemenen painossa ja vastaavasti alle 1:n kg hehtolitränpainossa.

Viljaotannan analyysimenetelmän kehittäminen

Sopivan tilastollisen analyysimenetelmän etsiminen aloitettiin vuosien 1990-2000 kaura-aineistolla, jossa havaintoja voitiin käyttää noin 4500. Tutkittaessa vuoden vaikutusta lannoitustasoihin valittiin mallissa satunnaisvaikutteiseksi tekijöiksi lajike ja maaseutukeskus. Lajikkeen ja maaseutukeskuksen yhdysvaikutuksen lisääminen malliin ei ollut tilastollisessa mielessä tarpeellista. Kaura-aineistossa typpilannoitus aleni vuosien 1990-1994 keskiarvosta 90 kg/ha vuosien 1995-2001 keskiarvoon 84 kg/ha. Fosforilannoitus aleni vastaavasti 21:stä kg/ha 15:een kg/ha. Fosforilannoitukselle tehtiin logaritmuunnos jakauman normalisoimiseksi.

Koska lannoitustasojen muutos vuosien 1990-1994 ja 1995-2001 välillä havaittiin aineistosta, tutkittiin samalla tilastollisella mallilla myös hehtoliträn ja tuhannen siemenen painon ja itävyyden muutoksia kyseisten ajanjaksojen välillä. Hehtoliträn painon muutos oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,005$), mutta vain 56,0:kg:sta 55,7 kg:aan. Vuosien 1998-2000 hehtolitränpainojen keskiarvo oli kuitenkin vain 54,4 kg. Tuhannen siemenen paino pieneni ensimmäisen ympäristötukikauden (1995-2001) aikana 32,1:stä g 31,4:ään g. Koska itävyys esitetään prosentteina, sille tehtiin arkussineliöjuurimuunnos. Itävyys oli noussut tarkastelujaksojen välillä 83:sta 87 %:iin.

Jotta lannoitustasojen todellista vaikutusta laatutekijöihin voitaisiin analysoida, siirryttiin käyttämään satunnaiskertoimista regressiomallia (Littell ym. 1996, s. 253-266) . Mallissa jokaiselle maaseutukeskuksen ja vuoden kombinaatiolle annettiin estimoitua oma lannoituksen vaikutus. Malliin lisättiin lajike kovariaattina. Keskimäärin yhden typpikilon vaikutus hehtolitrain painoon oli 0,0068 kg. Typpilannoitukselle ja itävyydelle löydettiin heikko negatiivinen yhteys. Tuhannen siemenen painoon typpilannoituksella ei ollut merkitystä. Fosforilannoituksella ei havaittu vaikutusta hehtolitrain ja tuhannen siemenen painoon.

Koska maalaji vaikuttaa typpilannoitussuositukseen, päätettiin maalaji ottaa lannoitussuositusten mukaisella savi-, hieta- ja multamaat luokittelulla mukaan lannoitustasojen laatutekijöiden vertailuun. Kuten oletettiin, typpilannoitus oli laskenut kivennäismailla, mutta pysynyt ennallaan eloperäisillä mailla (Taulukko 1).

Fosforilannoitus ei luonnollisesti muuttunut maalajin vaikutuksesta, koska viljavuusanalyysin tulokset ratkaisevat yleensä fosforilannoituksen. Fosforilannoituksen vaikutusta laatutekijöihin testattiin kauralla käyttäen myös satunnaiskertoimista regressiomallia. Maalajin huomioon ottaminen ei selittänyt vaihtelua, joten maalaji jätettiin pois fosforia tarkasteltaessa.

Taulukko 1. Kauran typpilannoitustasot maalajeittain.			
<i>Table 1. Annual nitrogen rate of oats divided by soil type.</i>			
Typpilannoitus (kg/ha) <i>Nitrogen rate</i>			
Vuosi <i>Year</i>	Savimaat <i>Clay</i>	Hieta-Hiekka <i>Sand</i>	Eloperäiset <i>Organic soils</i>
1990	87.7	92.8	75.2
1991	97.2	97.9	77.6
1992	92.2	85.9	78.4
1993	93.1	90.4	76.1
1994	95.6	96.3	74.5
1995	86.8	95.2	75.2
1996	86.2	87.6	76.1
1997	85.4	81.8	77.7
1998	84.8	85.9	72.7
1999	85.6	85.2	75.0
2000	85.0	82.9	75.4
90-94	93.2	92.6	76.4
95-00	85.7	86.5	75.4
muutos <i>difference</i>	-7.5	-6.2	-1

Lannoituksen muutokset

Typpilannoitus on vähentynyt ympäristötuen aikana selvästi (Taulukko 2). Savimailla typpilannoitus on laskenut 7-27 kg/ha. Fosforilannoitus on vähentynyt lähes 30%, ja kivennäismailla väheneminen on 5-11 kg/ha (Taulukko

3). Ympäristötuen myötä lannoitteiden käyttö on siis alentunut lannoitus-suositusten mukaisesti. Ajanjakson 1995-2001 typpilannoitukset ovat hyvin lähellä perustason mukaisia suosituksia ja samoin fosforilannoitus on lähes perustason mukainen 15 kg/ha.

Taulukko 2. Typpilannoituksen keskiarvo (kg/ha) maalajeittain ajanjaksoina 1990-1994 ja 1995-2001. (Tummennetuissa luvuissa ero on tilastollisesti merkitsevä.)

Table 2. The average nitrogen (N) rate (kg/ha) in different soil types in 1990-1994 and 1995-2001. (Bold numbers indicate statistically significant difference.)

	Savet <i>Clay</i>		Hieta, hiekka <i>Sand</i>		Mult- ja turve- maat <i>Organic soils</i>	
	1990– 1994	1995– 2001	1990– 1994	1995– 2001	1990– 1994	1995– 2001
Kaura <i>Oats</i>	93	86	93	86	76	75
Kevätvehnä <i>Spring wheat</i>	113	99	107	93	98	90
Mallasohra <i>Malting barley</i>	102	93	97	90	86	75
Ohra <i>Barley</i>	97	86	89	87	79	76
Ruis <i>Winter rye</i>	114	84	91	79	107	70
Syysvehnä <i>Winter wheat</i>	155	128				

Taulukko 3. Fosforilannoituksen keskiarvo (kg/ha) maalajeittain ajanjaksoina 1990-1994 ja 1995-2001. (Tummennetuissa luvuissa ero on tilastollisesti merkitsevä.)

Table 3. The average phosphorus (P) rate (kg/ha) of different soil types in 1990-1994 and 1995-2001. (Bold numbers indicate statistically significant difference.)

	Savet Clay		Hieta, hiekka Sand		Multa- ja turve- maat Organic soils	
	1990– 1994	1995– 2001	1990– 1994	1995– 2001	1990– 1994	1995– 2001
Kaura Oats	21,3	15,0	23,3	15,8	22,0	14,6
Kevätvehnä Spring wheat	22,3	15,3	21,5	15,9	21,5	15,7
Mallasohra Malting barley	20,3	15,0	20,6	15,8	22,5	15,3
Ohra Barley	21,8	15,9	23,5	17,8	22,1	16,7
Ruis Winter rye	26,0	14,8	20,3	17,0	28,2	15,7
Syysvehnä Winter wheat	24,0	13,4				

Laatutekijöiden muutokset

Verrattaessa ajanjaksoja 1990-1994 ja 1995-2001 eri viljakaasveilla havaitaan viljojen hehtolitrainpainon ja tuhannen siemenen painon alentuneen tilastollisesti merkitsevästi kevätvehnää lukuun ottamatta (Taulukko 4).

Satunnaiskertoimisella regressiomallilla tutkittiin fosforin ja typen vaikutusta eri viljojen laatuun. Typpilannoituksella on aineistossa ollut lievä positiivinen vaikutus valkuaispitoisuuteen ja hehtolitrainpainoon (Taulukko 5). Vaikutukset ovat kuitenkin pieniä, sillä 10 kg/ha lisäys typpilannoituksessa lisää valkuaispitoisuutta 0,04-0,06 % ja hehtolitrainpainoa 0,05-0,10 kg. Tuhannen siemenen painoon typpilannoitus vaikutti kevätvehnällä ja ohralla. Fosforilannoituksella havaittiin vaikutusta kauran valkuaispitoisuuteen, rukiin hehtolitrainpainoon ja ohran sekä rukiin tuhannen siemenen painoon. (Taulukko 6).

Taulukko 4. Viljojen laatutekijöiden keskiarvot ajanjaksoina 1990-1994 ja 1995-2001. (Tummennetuissa luvuissa ero on tilastollisesti merkitsevä.)

Table 4. The average quality of cereals in 1990-1994 and 1995-2001. (Bold numbers indicate statistically significant difference.)

	Hehto- litranpaino <i>Hectoliter weight kg</i>	1000 sie- menen paino <i>1000 kernels weight g</i>	Itävyys <i>Germination %</i>	Valkuainen <i>Protein %</i>
Kaura 1990–94	56,3	32,5	83	13,1
<i>Oats 1995-2001</i>	55,6	31,6	87	13,0
Kevätvehnä 1990-94	79,3	35,8	73	13,7
<i>Spring wheat 1995-2001</i>	78,5	34,0	83	13,2
Mallasohra 1990-94	70,5	45,2	92	11,9
<i>Malting barley 1995-2001</i>	67,5	41,2	92	12,0
Ohra 1990–94	65,7	38,8	89,6	12,3
<i>Barley 1995-2001</i>	63,7	36,1	90,4	12,2
Ruis 1990–94	74,5	25,9	72	11,5
<i>Winter rye 1995-2001</i>	73,2	24,3	81	11,3
Syysvehnä 1990–94	81,0	39,7	85	12,3
<i>Winter wheat 1995-2001</i>	79,8	37,4	86	12,0

Taulukko 5. Yhden typpilannoituskilon vaikutus laatutekijöihin (- = tilastollinen malli ei sopinut, ns = ei tilastollista vaikutusta).

Table 5. Effect of 1 kg N fertilizer on grain quality. (- = statistical model did not apply, ns = not significant)

Viljelykasvi <i>Cereal</i>	Valkuaispitoisuus (%) <i>Protein content</i>	Hehtolitrainpaino (kg) <i>Hectoliter weight</i>	1000 siemenen paino (g) <i>1000 kernels weight</i>
Kaura <i>Oats</i>	0,0036	0,0053	ns
Kevätvehnä <i>Spring wheat</i>	0,0057	0,0122	0,0062
Mallasohra <i>Malting barley</i>	0,0053	0,0072	ns
Ohra <i>Barley</i>	-	0,0142	0,0088
Ruis <i>Winter rye</i>	ns	ns	ns
Syysvehnä <i>Winter wheat</i>	0,0056	ns	ns

Taulukko 6. Yhden fosforilannoituskilon vaikutus laatutekijöihin (- = tilastollinen malli ei sopinut, ns = ei tilastollista vaikutusta).

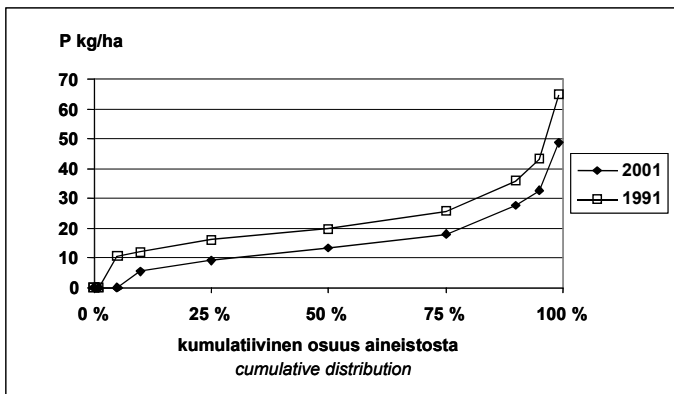
Table 6. Effect of 1 kg P fertilizer on grain quality. (- = statistical model did not apply, ns = not significant)

Viljelykasvi <i>Cereal</i>	Valkuaispitoisuus (%) <i>Protein content</i>	Hehtolitrainpaino (kg) <i>Hectoliter weight</i>	1000 siemenen paino (g) <i>1000 kernels weight</i>
Kaura <i>Oats</i>	0,0028	ns	ns
Kevätvehnä <i>Spring wheat</i>	ns	ns	ns
Mallasohra <i>Malting barley</i>	ns	ns	ns
Ohra <i>Barley</i>	-	ns	0,0208
Ruis <i>Winter rye</i>	ns	0,0106	0,0190
Syysvehnä <i>Winter wheat</i>	ns	ns	ns

Tulosten tarkastelu

Kirjallisuuskatsauksesta ei ole löytynyt mitään hälyttävää viitettä laatutekijöiden alenemisesta nykyisillä lannoitustasoilla. Alhainen fosforilannoitus on erottunut selvimmin ohran laadussa. Tällöinkin laadun heikkeneminen on tapahtunut lähinnä lannoittamattomien ja normaalisti fosforilla lannoitettujen käsittelyjen välillä.

Viljaotannan aineistossa lannoitustasojen aleneminen ympäristötukikauden 1995-2001 myötä on selkeä. Tutkituista laatutekijöistä hehtolitranspainsi ja tuhannen siemenen paino ovat myös olleet selvästi alhaisemmat ympäristötukikauden 1995-2001 aikana. Laatutekijöiden muuttumiseen ajan funktiona vaikuttavat tarkasteltavana olevalla lyhyellä aikajaksolla lannoitustasojen alenemisen lisäksi kuitenkin mm. säättekijät ja muut viljelyssä tapahtuneet muutokset. Tarkasteluajanjakson pidentyminen vuoteen 2005 vähentää säättekijöiden vaikutusta. Tutkittaessa typpilannoituksen suoraa vaikutusta laatutekijöihin, vaikutus oli usein tilastollisesti merkitsevä mutta vähäinen. Esimerkiksi kauran valkuaispitoisuuden 0,2 % aleneminen vastaisi regressiomallin mukaan jo 56 kg/ha vähennystä typpilannoituksessa. Kauran hehtolitranspainsi väheneminen 0,8 kg:lla vaatisi jo 150 kg/ha eron yksinään typpilannoituksessa.



Kuva 1. Fosforilannoituksen kumulatiivinen jakauma vuosina 1991 ja 2001.

Figure 1. Cumulative distribution of P rate in 1991 and 2001.

Korkeampi fosforilannoitus ei satunnaiskertoimisen regressiomallin mukaan ole tuottanut parempaa laatua. Korkeat fosforilannoitustasot voivat kuitenkin olla seurausta maan alhaisesta fosforiluvusta, ja alhaisten fosforilannoitustasojen lohkojen maan fosforiluku voi olla korkea. Fosforilannoituksen jakauma on esimerkiksi vuosina 1991 ja 2001 ollut saman muotoinen (Kuva 1), ainoastaan lannoitustaso on laskenut. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin

todeta, ettei vuosittain lannoituksessa annettu fosfori ole selittänyt laatuvahtelua.

Johtopäätökset

Viljaotannasta mitatussa laadussa voidaan havaita selvää heikkenemistä vuosien 1995-2001 aikana. Laadun heikentymistä ei kuitenkaan voida suoraan kytkeä alentuneeseen lannoitukseen vaan todennäköisesti pääasiallisena syyinä on useiden tekijöiden kuten, epäedullisten kasvukausien, vähentyneen kasvinsuojelun ja perusparannusten yhteisvaikutus.

Kirjallisuus

KTTK 1996. Viljaseula 1995. Kasvintuotannon tarkastuskeskus. Viljalaboratorio. Helsinki. 57s.

KTTK 1997. Viljaseula 1996. Kasvintuotannon tarkastuskeskus. Viljalaboratorio. Helsinki. 59 s.

KTTK 1998. Viljaseula 1997. Kasvintuotannon tarkastuskeskus. Viljalaboratorio. Helsinki. 54s.

KTTK 1999. Viljaseula 1998. Kasvintuotannon tarkastuskeskus. Viljalaboratorio. Helsinki. 57 s.

KTTK 2000. Viljaseula 1999. Kasvintuotannon tarkastuskeskus. Viljalaboratorio. Helsinki. 67 s.

KTTK 2001. Viljaseula 2000. Kasvintuotannon tarkastuskeskus. Viljalaboratorio. Helsinki. 71 s.

KTTK 2002. Viljaseula 2001. Kasvintuotannon tarkastuskeskus. Viljalaboratorio. Helsinki. 69 s.

Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W. & Wolfinger, R.D. 1996. SAS System for Mixed Models. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 633 s.

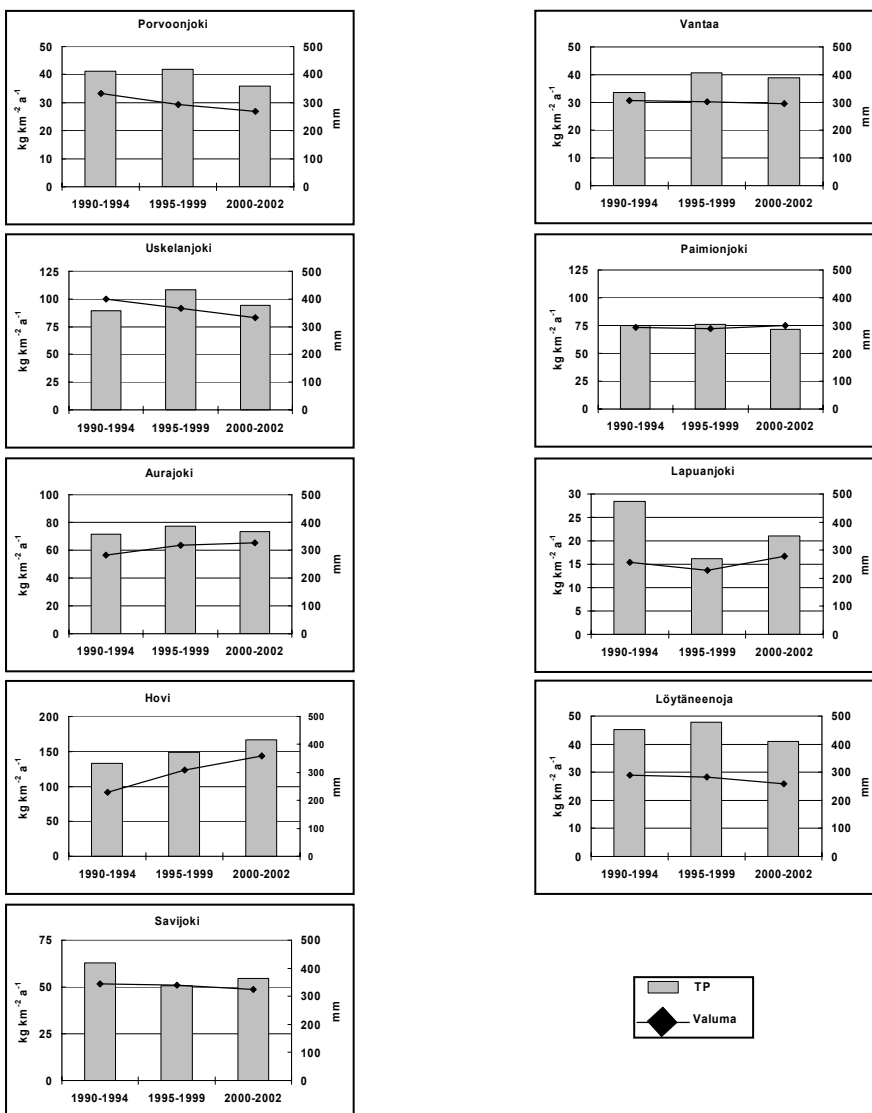
Saarela, I. Järvi, A., Hakkola, H. & Rinne, K. 1995. Fosforilannoituksen porsaskokeet 1977-1994. Vuosittain annetun fosforimäärän vaikutus maan viljavuuteen ja peltokasvien satoon monivuotisissa kenttäkokeissa. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 16/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 94s. + 14 liitettä.

Valtion Viljavarasto. 1991. Valtion viljavaraston viljalaboratorio. Tiedonantoja. Osat I-III. 509 s.

Liitteet

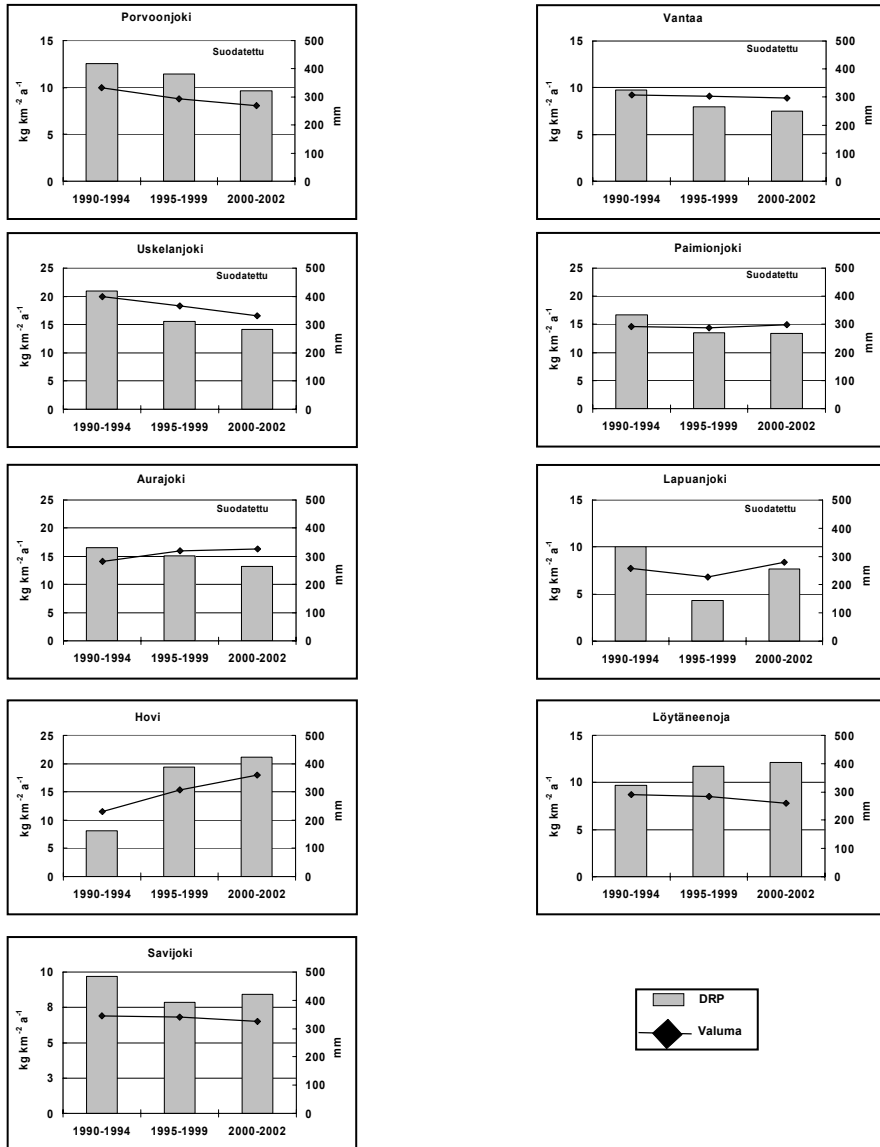
Liite 1. Keskimääräiset kokonaisfosforikulkeumat ja valuma kuudessa joessa ja kolmella maatalousvaltaisella pienellä valuma-alueella ennen ympäristötukikautta (1990–1994), ensimmäisellä tukikaudella (1995–1999) sekä toisen tukikauden alussa (2000–2002).

Appendix 1. Mean fluxes of total phosphorus and runoff in six rivers and three small catchments before agri-environmental load programme (1990–1994), in the first programme period (1995–1999) and in the beginning of the second programme period (2000–2002).



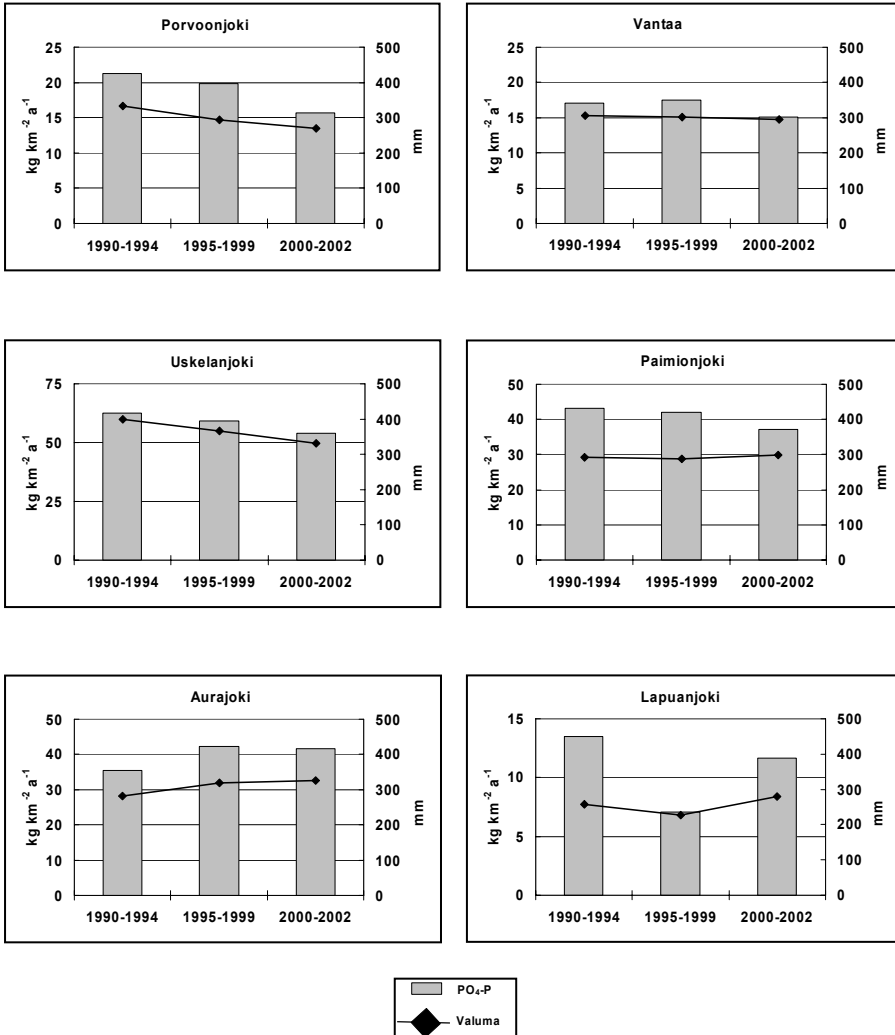
Liite 2. Keskimääräiset suodatetun kokonaisfosforin kulkeumat ja valuma kuudessa joessa sekä suodatetun fosfaattifosforin kulkeumat kolmella maatalousvaltaisella pienellä valuma-alueella ennen ympäristötukikautta (1990–1994), ensimmäisellä tukikaudella (1995–1999) sekä toisen tukikauden alussa (2000–2002).

Appendix 2. Mean fluxes of dissolved total phosphorus and runoff in six rivers and three small catchments before agri-environmental load programme (1990–1994), in the first programme period (1995–1999) and in the beginning of the second programme period (2000–2002).



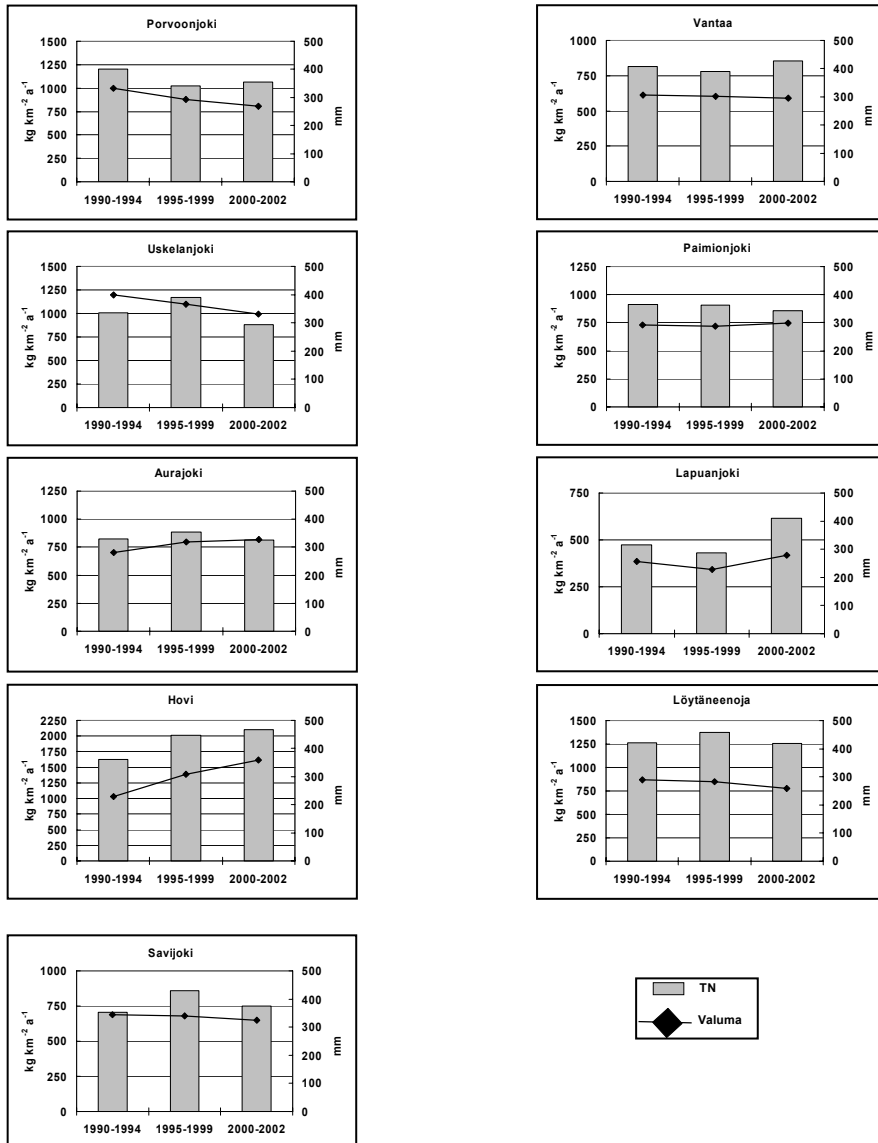
Liite 3. Keskimääräiset fosfaattifosforikulkeumat ja valuma kuudessa joessa ennen ympäristötukikautta (1990–1994), ensimmäisellä tukikaudella (1995–1999) sekä toisen tukikauden alussa (2000–2002).

Appendix 3. Mean fluxes of phosphate phosphorus and runoff in six rivers before agri-environmental load programme (1990–1994), in the first programme period (1995–1999) and in the beginning of the second programme period (2000–2002).



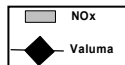
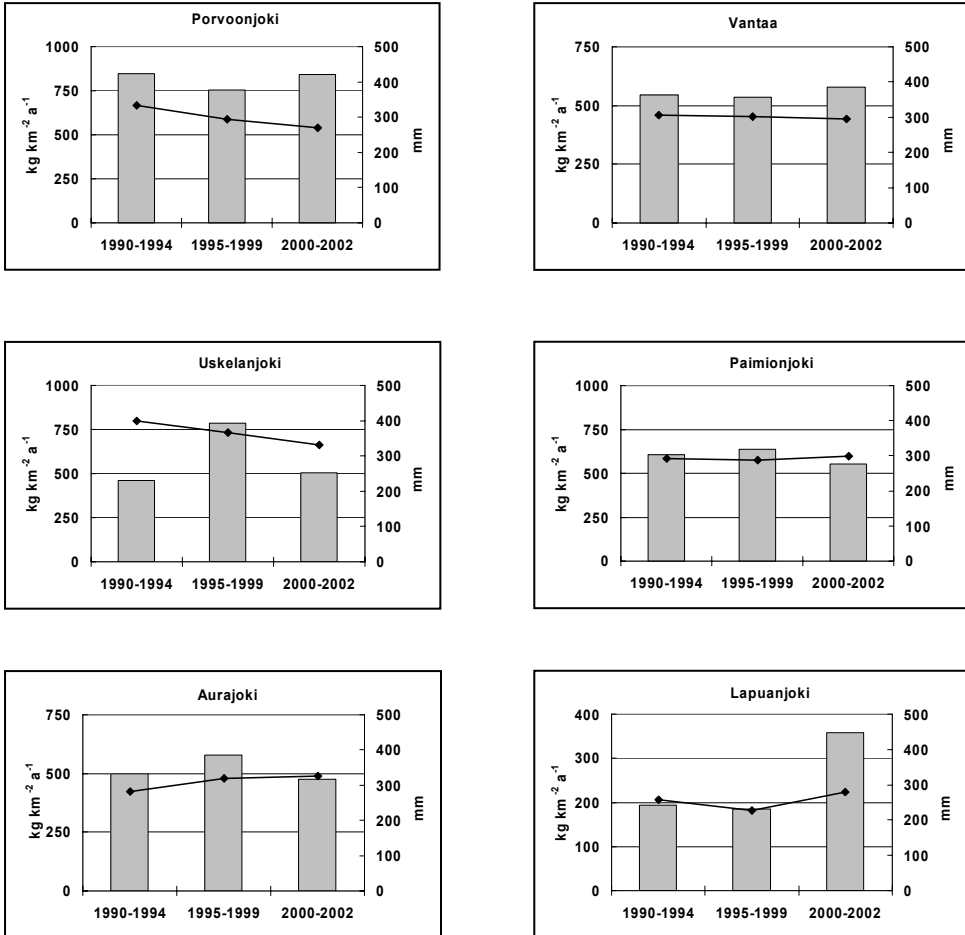
Liite 4. Keskimääräiset kokonaistyyppikulkeumat ja valuma kuudessa joessa ja kolmella maatalousvaltaisella pienellä valuma-alueella ennen ympäristötukikautta (1990–1994), ensimmäisellä tukikaudella (1995–1999) sekä toisen tukikauden alussa (2000–2002).

Appendix 4. Mean fluxes of total nitrogen and runoff in six rivers and three small catchments before agri-environmental load programme (1990–1994), in the first programme period (1995–1999) and in the beginning of the second programme period (2000–2002).



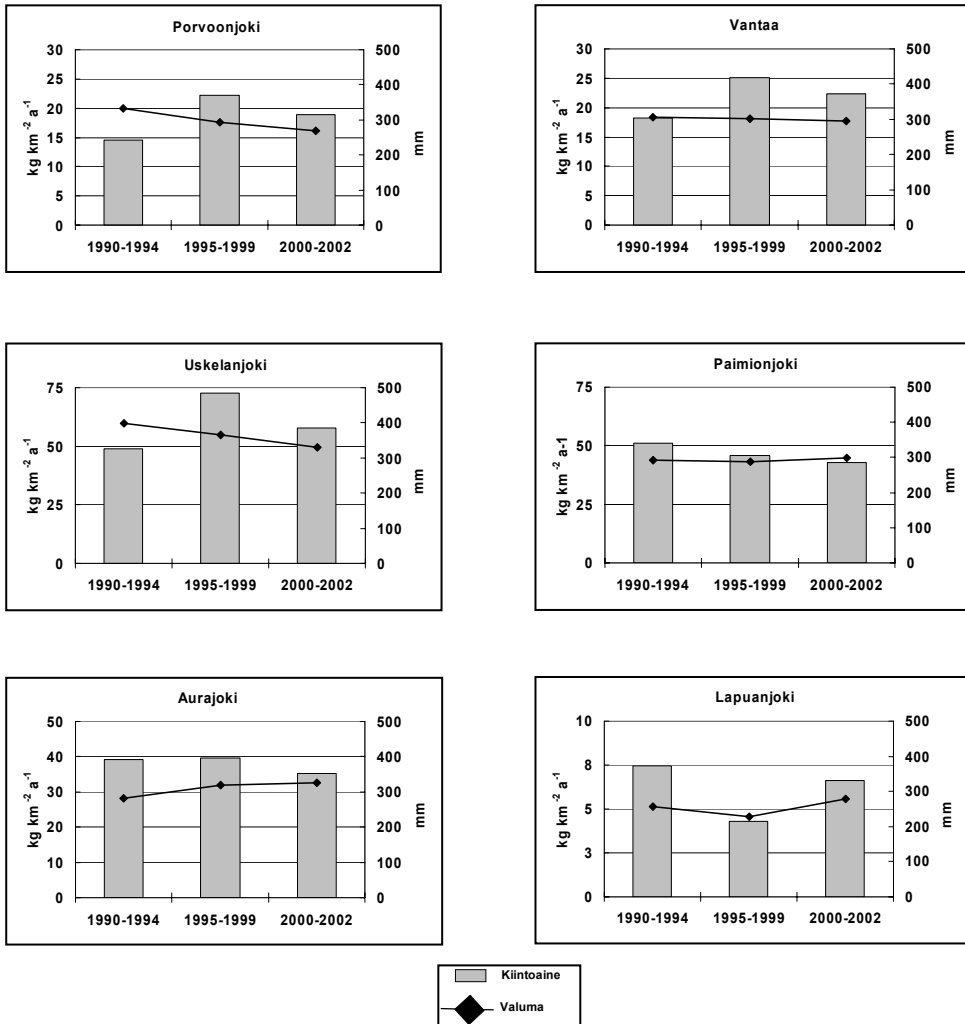
Liite 5. Keskimääräiset nitraattityppikulkeumat ja valuma kuudessa joessa ennen ympäristötukikautta (1990–1994), ensimmäisellä tukikaudella (1995–1999) sekä toisen tukikauden alussa (2000–2002).

Appendix 5. Mean fluxes of nitrate nitrogen and runoff in six rivers before agri-environmental load programme (1990–1994), in the first programme period (1995–1999) and in the beginning of the second programme period (2000–2002).



Liite 6. Keskimääräiset kiintoainekulkeumat ja valuma kuudessa joessa ennen ympäristötukikautta (1990–94), ensimmäisellä tukikaudella (1995–1999) sekä toisen tukikauden alussa (2000–2002).

Appendix 6. Mean fluxes of suspended solids and runoff in six rivers before agri-environmental load programme (1990–1994), in the first programme period (1995–1999) and in the beginning of the second programme period (2000–2002).



Maa- ja elintarviketalous –sarjan ympäristöteemassa ilmestyneitä julkaisuja

2004

- 59 Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2. Osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000-2003. *Turtola, E. & Lemola, R. (toim.)*. 176 s. Hinta 25 euroa.
- 47 Suuret pihatot – eläinten hyvinvointi, lypsyn työnmenekki, työolot ja ympäristönhoito. *Uusi-Kämppä, J. & Rissanen, P. (toim.)*. 184 s. Hinta 25 euroa.

2003

- 38 Valuma-alueen ja vesistön välisen vuorovaikutuksen arviointi. *Nyholm, A-M. ym.* 75 s. Hinta 20 euroa.
- 27 Kadmium Suomen peltoekosysteemeissä: pitoisuuksia, taseita ja riskejä. *Mäkelä-Kurtto, R.* 51 s. Hinta 20 euroa.
- 35 Emmental Sinileima –juuston tuotantoketjun ympäristövaikutukset ja parannusmahdollisuudet. *Voutilainen, P. ym.* 91 s. Hinta 20 euroa.
- 34 Kesäpöytä Juustokermaperunoiden ja Pirkka-perunajauhon ympäristövaikutukset. *Voutilainen, P. ym.* 54 s. Hinta 20 euroa.
- 33 Elovena-kaurahiutaleiden ympäristövaikutukset. *Katajajuuri, J-M. ym.* 47 s. Hinta 15 euroa.
- 28 Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasvintuotannossa. *Lehtonen, K. ym.* 120 s. Hinta 25 euroa.
- 25 Lypsykarjataloudesta tulevan ympäristökuormituksen vähentäminen. *Uusi-Kämppä, J. ym. (toim.)*. 131 s. Hinta 25 euroa.
- 12 Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat. *Ylivainio, K. ym.* 74 s. Hinta 20 euroa.
- 5 Agri-environmental and rural development indicators: a proposal. *Yli-Viikari, A. ym.* 102 s. Hinta 25 euroa.

Julkaisuviitteet löytyvät sarjojen internetsivuilta
www.mtt.fi/julkaisut/sarjathaku.html.

