



Maatalous Itämeren rehevöittäjänä

Risto Uusitalo, Petri Ekholm, Eila Turtola,
Heikki Pitkänen, Heikki Lehtonen, Kirsti Granlund, Saara Bäck,
Markku Puustinen, Antti Räike, Jouni Lehtoranta, Seppo Rekolainen,
Mari Walls ja Pirkko Kauppila



Maa- ja elintarviketalous 96
34 s.

Maatalous Itämeren rehevöittäjänä

Risto Uusitalo, Petri Ekholm, Eila Turtola,
Heikki Pitkänen, Heikki Lehtonen, Kirsti Granlund, Saara
Bäck, Markku Puustinen, Antti Räike, Jouni Lehtoranta,
Seppo Rekolainen, Mari Walls ja Pirkko Kauppila

ISBN 978-952-487-087-0 (Painettu)
ISBN 978-952-487-088-7 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1458-5073 (Painettu)
ISSN 1458-5081 (Verkkajulkaisu)
<http://www.mtt.fi/met/pdf/met96.pdf>
Copyright
MTT
Kirjoittajat
Julkaisija ja kustantaja
MTT, 36100 Jokioinen
Jakelu ja myynti
MTT, Tietohallinto, 36100 Jokioinen
Puhelin (03) 4188 2327, Fax (03) 4188 2339
Julkaisuvuosi
2007
Kannen kuva
Yrjö Tuunanen/MTT:n arkisto
Painopaikka
Tampereen Yliopistopaino – Juvenes Print

Maatalous Itämeren rehevöittäjänä

Risto Uusitalo¹⁾, Petri Ekholm²⁾, Eila Turtola¹⁾, Heikki Pitkänen²⁾, Heikki Lehtonen¹⁾, Kirsti Granlund²⁾, Saara Bäck²⁾, Markku Puustinen²⁾, Antti Räike²⁾, Jouni Lehtoranta²⁾, Seppo Rekolainen²⁾, Mari Walls¹⁾ ja Pirkko Kauppila²⁾

¹⁾ MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), 31600 Jokioinen

²⁾ Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki

Tiivistelmä

Suomen osuus Itämeren fosfori- ja typpikuormituksesta on hieman alle 15 prosenttia, kun mukaan luetaan myös luonnonhuuhtouma. Maatalous aiheuttaa Suomessa 60 prosenttia fosforin ja 52 prosenttia typen kuormasta, joka päättyy Itämereen ihmistoiminnan seurauksena. Maatalouden vaikutus rehevyyteen on voimakkainta Saaristomerellä. Lisäksi maatalous heikentää veden laatua selvästi Suomenlahden rannikolla ja esimerkiksi Kyrönjoen ja Kokemäenjoen edustoilla.

Suomenlahden rannikon ja Saaristomerren valuma-alueiden pelloista valtaosa on erodoituvia savimaita, joita hyödynnetään viljantuotantoon. Näiltä mailta tuleva ravinnekuorma kulkee suurimmaksi osaksi maa-aineksen mukana. Pohjanmaalla maat ovat karkeampia ja multavampia, maasto tasaisempaa ja nurmien määrä suurempi, eikä eroosio ole keskeinen ongelma. Kuormitus muodostuukin suuremmissa määrin valumaveteen liuenneista ravinteista kuin eteläisen Suomen savialueilla.

Vaikka lannoitusmäärät ovat pienentyneet huomattavasti viimeisten vuosikymmenien aikana, seuranta-aineistoissa ei ole vielä nähtävissä merkkejä maatalouden ravinnekuormituksen vähenemisestä. Mikäli maatalouden käytännöt jatkuvat nykyisenlaisina, ravinnekuorma Itämereen ja sisävesiin kuitenkin todennäköisesti hitaasti pienenee Uudenmaan kaltaisilla alueilla, missä valtaosa peltoalasta on kasvintuotantotilojen käytössä. Sen sijaan ravinnekuormitus voi tulevaisuudessa lisääntyä seuduilla, jonne on syntynyt tai syntymässä vahvoja kotieläintalouden keskittymiä. Tällaisia alueita on esimerkiksi Varsinais-Suomessa, Satakunnassa ja Pohjanmaalla. Koska kotieläinten lantaan kulkeutuu noin 70 prosenttia vuosittain korjattavan sadon sisältämää fosforista, kotieläintaloudella on ratkaiseva merkitys maatalousmaan ravinnetilan kehityksen ja sitä kautta ravinteiden huuhtouman kannalta.

Jos kuormitusta halutaan voimakkaasti ja nopeasti leikata, erityisesti kotieläintilojen ravinnekierto on saatava kestäväälle pohjalle ja maatalouden vesiensuojelutoimia on kohdennettava kaikkein kuormittavimmille peltolohkoille. Sen lisäksi joissakin tapauksissa on ryhdyttävä valumavesien aktiiviseen puhdistamiseen. Toisaalta tärkeää on myös turvata peltojen yleinen kasvukunto huolehtimalla muun muassa kalkituksesta ja salaojituksesta. Viljelymaiden eroosion vähentäminen edellyttäisi viljelyn monipuolistamista ete-

läisessä Suomessa, kasvipeitteisen alan kasvattamista ja pitkäaikaista panostamista maan rakenteen parantamiseen ja vesitalouden kunnossapitoon.

Kotieläintalouden vallitsevana trendinä lienee tuotannon keskittäminen yhä suurempiin yksiköihin, sillä muihin Länsi-Euroopan maihin verrattuna Suomessa on hyödynnetty vasta osa keskittämisen hyödyistä. Toisaalta keskitetty tuotanto voi lisätä esimerkiksi eläintauteihin liittyviä riskejä. Jos riskien kasvu aiheuttaa tappioita tai pienentää voittoja, keskitetyn tuotannon kilpailukyky ei muunnu taloudelliseksi voitoksi. Sen sijaan tuotanto lisää varmuudella keskittymäalueiden ympäristökuormitusta ja siten myös tarvetta kohdentaa ympäristönsuojelutoimia alueellisesti. Kokonaisuuden kannalta maatalouskäytäntöjen muuttaminen vähemmän ympäristöä kuormittavaan suuntaan olisi myös taloudellisesti edullista. Esimerkiksi kotieläinten ruokinnassa käytettävien kivennäisten käyttöä voitaisiin vähentää monilla tiloilla ja täten säästää kustannuksia.

Avainsanat: maatalous, ympäristökuormitus, typpi, fosfori, rehevöityminen, Itämeri, vesistöt

Alkusanat

Maatalous on Itämeren alueella merkittävä rehevöitymistä aiheuttava kuormituslähde. Vaikka Suomen maatalouden päästöjen vähentämisellä ei ole suurta vaikutusta koko Itämeren tilaan, omien sisä- ja rannikkovesiemme laatu riippuu pääasiassa Suomessa tehtävistä toimenpiteistä. Maatalouden osuus ravinnekuormasta on vuosikymmenten kuluessa kasvanut samaa tahtia kuin pistekuormituslähteiden osuus on vähentynyt. Samalla kuormituksen pienentäminen edelleen on tullut entistä työläemmäksi, sillä maatalouden ravinnekuorma tulee laajoilta alueilta, suuren vesimäärän mukana ja pieninä pitoisuuksina.

Yhdeksän kymmenestä maatilasta osallistuu maatalouden ympäristöohjelmiin, joita on toteutettu vuodesta 1995 lähtien. Mikä on maatalouden merkitys Itämeren eri osien rehevöittäjänä tänä päivänä? Tähän kysymykseen maa- ja metsätalousministeriö pyysi selvitystä Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskukselta (MTT) ja Suomen ympäristökeskukselta (SYKE).

Maatalousmaalta valuvien vesien mukana poistuvaa ravinnekuormaa on mitattu MTT:ssa ja SYKE:ssa kymmeniä vuosia. Eri viljelytapojen ja viljelytoimenpiteiden vaikutuksia ravinnekuormien suuruuteen on tutkittu kenttäkokeiden avulla ja näin on saatu käsitys yksittäisten toimien vaikutuksista. Pienillä valuma-alueilla tehtyjen vesistöseurantojen perusteella on laskettu keskimääräisiä kuormituslukuja ja näitä on tarkennettu muiden vesistöseurantojen perusteella. Vesistöjen ja päästölähteiden tarkkailun perusteella ravinnekuormat on voitu osittaa eri lähteisiin. Vesistöjen kemiallisen tilan seurannoilla on saatu tietoa yleisestä rehevöitymiskehityksestä ja tilastoaineistoista on selvitetty kuormitukseen vaikuttavien taustatekijöiden muutoksia. Selvityksemme on kooste ja analyysi kaikesta tästä tiedosta. Toivomme sen antavan tietopohjaa keskusteluun Itämeren tulevaisuudesta, tarvittavista viljelykäytäntöjen muutoksista ja tutkimuksen suuntaamisesta kohti kestävämpää maataloustuotantoa.

Jokioisilla ja Helsingissä 15.2.2007

Tekijät

Sisällysluettelo

1 Miksi Itämeri rehevöityy herkästi?	7
2 Maalta peräisin oleva kuorma ja sen osittaminen eri lähteisiin.....	8
3 Maatalouden kuormituksen kehitys	10
3.1 Maatalouden tuotantosuunnat ja luonnonolot Itämeren eri osien valuma-alueilla	10
3.2 Alueelliset typpi- ja fosforitaseet.....	14
3.3 Ravinnekuormien seuranta	15
3.4 Ilmastonmuutos ja ravinnekuormitus	16
3.5 Maataloudesta peräisin olevan fosforin biologinen käyttökelpoisuus	17
4 Rehevöityminen eri merialueilla	18
5 Kuormituksen vähentäminen.....	21
5.1 Tuotantopanosten kestävä käyttö	21
5.2 Muokkaustoimenpiteet	23
5.3 Maatalouspolitiikan vaikutus.....	26
6 Johtopäätökset.....	27
Kirjallisuus	29

1 Miksi Itämeri rehevöityy herkästi?

Rehevöityminen on Itämeren ja sen rannikkoalueiden keskeinen ongelma (esim. Pitkänen ym. 2004). Itämeri on matala, kerrostunut vesialue, jossa veden viipymä on pitkä. Rehevöitymisen perussyynä on näihin olosuhteisiin nähden liiallinen typen ja fosforin kuormitus Itämeren 85 miljoonan ihmisen asuttamalta valuma-alueelta, jolla harjoitetaan intensiivistä maataloutta ja teollisuustoimintaa. Nykyinen ravinnekuorma Itämereen on arvioitu 4–8-kertaiseksi esiteolliseen aikaan verrattuna (Larsson ym. 1985).

Suurin osa ravinteista päätyy Itämereen jokien välityksellä (HELCOM 2004). Itämeren kokonaistypikuormasta noin neljäsosa muodostuu ilman kautta leviävästä kaukokulkeumasta, jonka lähteinä ovat liikenne, teollisuus ja maatalous (Bartnicki ym. 2000).

Typpi on Itämeren ulappavesissä pääasiallinen levien kasvua rajoittava ravinne. Eräillä sinilevillä on kuitenkin kyky korvata vedestä loppunut epäorgaaninen typpi ilmakehästä veteen liuenneella typpikaasulla (N_2), jolloin fosforin saatavuuden merkitys kasvua säätelevänä tekijänä kasvaa (Niemi 1979, Kononen 1992). Suomenlahden, Saaristomerren ja Selkämeren rannikovesissä muu levätuotanto on pääosin joko typpirajoitteista tai typpi- ja fosforirajoitteista, kun taas Perämeri on levätuotannoltaan selkeästi fosforirajoitteinen (Alasaarela 1980, Pitkänen ja Tamminen 1995, Tamminen ja Andersén 2007).

Suomenlahden vesipinta-alaan suhteutettu ravinnekuorma on 2–3-kertainen koko Itämereen verrattuna, ja se onkin rehevöitynein merialueemme (Pitkänen ym. 2001). Rehevöitymisalttiutta lisää se, että Suomenlahti on Itämeren pääaltaan kynnyksetön jatke, jonne pääaltaan syvänteisiin kertyneet ravinnevarat pääsevät virtaamaan pohjavirtauksena. Itämeren pääaltaasta kulkeutuviin ravinteiden lisäksi myös Suomenlahden omista, suolapitoisuus- ja lämpötilakerrostuneisuuden eristämistä sedimenteistä vapautuu ravinteita veteen loppukesällä (Lehtoranta 2003). Ravinteet joutuvat tuottavaan pintakerrokseen levien saataville kumpuamisen sekä erityisesti myöhäissyksyn ja talven myrskyjen aiheuttaman voimakkaan sekoittumisen yhteydessä. Suurin osa Suomenlahden veteen talvella vapautuneista ravinteista sitoutuu kevään kasviplanktonituotantoon, laskeutuakseen taas pohjalle planktonbiomassan mukana (Heiskanen 1998).

Saaristomerellä muodostaa vaihtumisvyöhykkeen pohjoisen Itämeren ja Selkämeren välillä. Saaristomerren yleinen rehevyystaso on kesällä hieman alhaisempi kuin läntisellä Suomenlahdella (vrt. Kirkkala 1998). Saaristomerellä on kuitenkin 1990-luvulla tapahtunut rehevöitymistä, vaikka ulkoinen kuormitus ei ole muuttunut merkittävästi (Suomela 2001).

Pohjanlahdella ravinnepitoisuudet ovat pienempiä kuin Suomenlahdella. Pohjanlahtea suojaa Saaristomeren ja vedenalaisten kynnysten muodostama harjanne, jonka vaikutuksesta sinne pääsee vain hyvin pieniä määriä Itämeren ravinteikasta vettä pohjavirtauksina. Kun merialueen vesitilavuuteen suhteutettu ulkoinen ravinnekuorma lisäksi on selvästi pienempi kuin Suomenlahden kuorma, eikä siellä ole merkittäviä sisäisen kuormituksen alueita, on avoimen Pohjanlahden keskimääräinen planktonleväpitoisuus kesällä vain 20–50 % Suomenlahden vastaavasta (Pitkänen ym. 2004).

Vaikka eri merialueiden ulappavesien rehevyytasoissa on edellä kuvattu eroja, pääosa kaikkien merialueiden rannikkovesistä on rehevöitynyttä ulappa-alueisiin verrattuna. Yleinen rehevyytason kasvu rannikon läheisillä merialueilla johtuu toisaalta rannikon päästölähteiden ja jokien tuoman ravinnekuorman suorista vaikutuksista, ja toisaalta rannikkovesien mataluuden aiheuttamasta tehostuneesta ravinnekierrosta pohjan ja veden välillä. Saaret ja matalikot heikentävät edelleen vedenvaihtoa avomeren kanssa ja lisäävät rannikkovesien rehevöitymisherkkyttä. Suomenlahden ja Saaristomeren rannikolla on pitkä yhtenäinen rehevöitynyt vyöhyke (a-klorofylli yli 5 mg/m³), jolle pistekuormitus ja hajakuorma jakautuu varsin tasaisesti. Suomenlahden yleisesti korkean ravinteisuuden rehevöittävät vaikutukset näkyvät erityisesti Hankoniemen ja Porkkalanniemen välisellä rannikkovesialueella, jolle suoraan maa-alueelta tuleva ravinnekuorma on suhteellisen vähäistä. Pohjanlahden rannikkovesissä keskimääräinen a-klorofyllipitoisuus ylittää 5 mg/m³ vain paikoitellen; laajimmat rehevöityneet alueet sijaitsevat Kokemäenjoen/Porin, Kyrönjoen/Vaasan, Kokkolan-Pietarsaaren sekä Oulun-Raahen edustoilla (Kauppila ja Lepistö 2001).

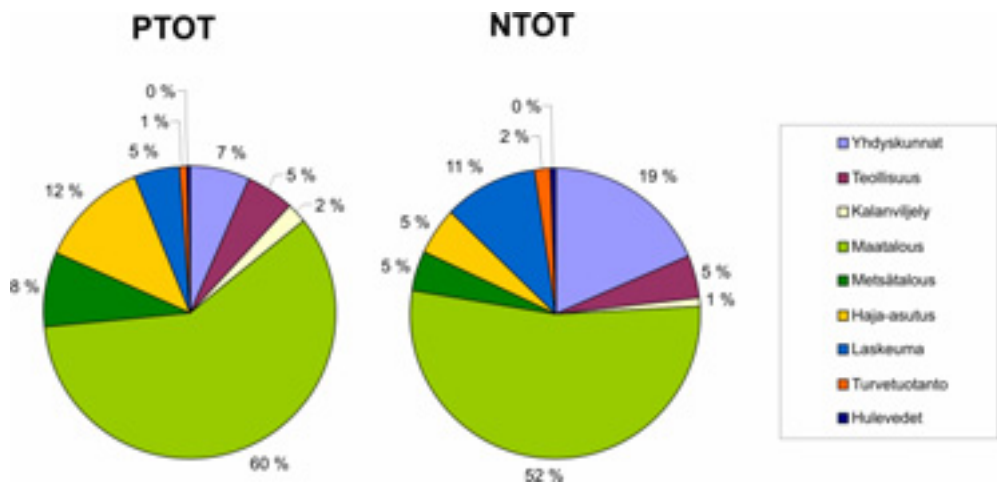
2 Maalta peräisin oleva kuorma ja sen osittaminen eri lähteisiin

Vuonna 2000 Itämereen arvioitiin tulevan koko valuma-alueelta 34 000 tonnia fosforia ja 745 000 tonnia typpeä (HELCOM 2004)¹. Suomen osuus näistä kuormista oli 4 800 tonnia fosforia ja 102 000 tonnia typpeä, ts. hieman alle 15 %. Kuormitusosuus on lähes sama kuin Suomen osuus Itämeren valuma-alueen pinta-alasta, mutta selvästi enemmän kuin osuutemme Itämeren valuma-alueen väestömäärästä (n. 6 %). Itämerikomission (HELCOM) kuormituslukuihin sisältyy ihmistoiminnan aiheuttaman kuorman lisäksi luonnonhuuhtouma, jonka keskimääräinen osuus Suomessa vuosina 2000–2004 oli 37 % typen ja 29 % fosforin kokonaiskuormista.

¹ Itämerikomission raportointivuosi 2000 oli normaalia sateisempi, minkä vuoksi sekä maatalouden hajakuorman että luonnonhuuhtouman ravinne määrät ovat jonkin verran korkeampia kuin pitkän jakson keskiarvot.

Mereen päätyvä ravinnekuorma muodostuu jokien ainevirtaamista ja suorasta kuormituksesta merialueille. Suora pistekuormitus merialueille voidaan laskea kuormitustarkkailutiedoista, jotka tallennetaan ympäristöhallinnon VAHTI-tietokantaan. Ravinteet voivat kulkeutua pitkiä matkoja jokien yläjuoksulta mereen asti, ellei matkalla ole ravinteita pidättäviä järviä. Laskeamalla sisävesien osa-alueille eri lähteistä tuleva ja lähtevä kuormitus voidaan massataselaskujen avulla osittaa mereen tuleva ravinnevirtaama alkulähteisiin. Vesistöjen ravinnekuormat on arvioitu Suomen ympäristökeskuksen VEPS-järjestelmän avulla, joka sisältää pistekuormituksen lisäksi arviot hajakuormasta, luonnonhuuhtoumasta, sekä ilmalaskeumasta. Vähentämällä jokien ravinnevirtaamista luonnonhuuhtouman osuus saadaan ihmistoiminnosta aiheutuva kuorma.

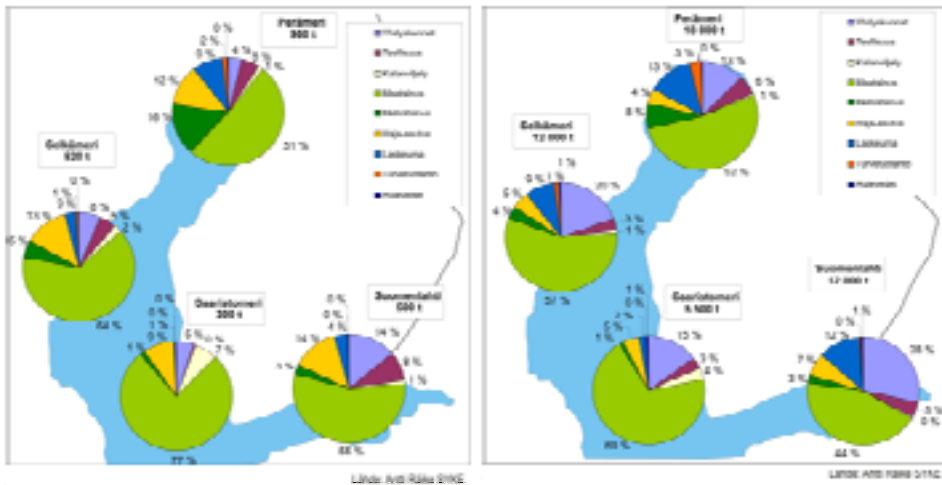
Ihmistoiminnasta aiheutuvasta kuormituksesta maatalouden osuus Suomen Itämereen päätyvästä fosforikuormasta oli vuosina 2000–2004 noin 60 % ja typpikuormasta 52 % (kuva 1). Maatalouden osuus oli suurin Saaristomerellä (75 % fosforista ja 70 % tystä), jossa myös valuma-alueen pinta-alaan suhteutettu kuormitus oli suurin (65 kg P/km² vuodessa ja 880 kg N/km² vuodessa). Saaristomeren kuormaan vaikuttaa se, että valuma-alueella on vain vähän järviä joihin ravinteita voisi pidättää.



Kuva 1. Suomesta Itämereen päätyvän, ihmistoiminnasta aiheutuvan fosfori- ja typpikuormaan suhteelliset osuudet vuosina 2000–2004.

Ihmistoiminnasta aiheutuva kokonaisfosforikuorma (t a⁻¹)
Suomesta Itämereen vuosien 2000 - 2004 keskiarvona

Ihmistoiminnasta aiheutuva kokosäätppikuorma (t a⁻¹)
Suomesta Itämereen vuosien 2000 - 2004 keskiarvona



Kuva 2. Suomessa ihmisen toiminnasta aiheutuva fosfori- ja typpikuorman jakautumat lähteittäin eri merialueilla. Värien selitys sama kuin kuvassa 1.

3 Maatalouden kuormituksen kehitys

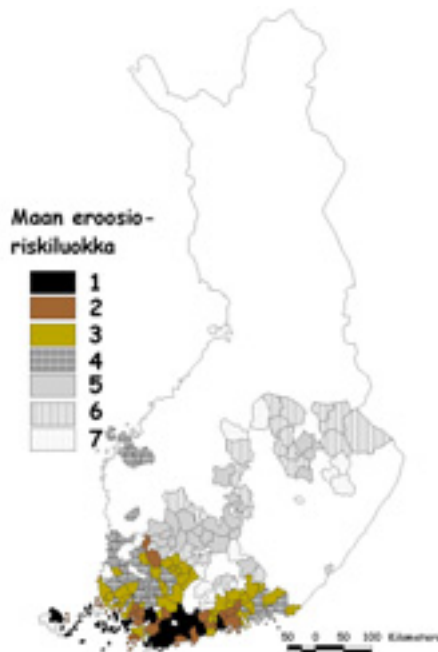
Maatalouden ravinnekuorman muutoksia on vaikea todentaa vesistöhavaintojen avulla. Ravinteiden kulkeutumiseen vaikuttaa voimakkaasti säätila (Vuorenmaa ym. 2002), minkä lisäksi maaperä sitoo ravinteita. Erityisesti fosforin huuhtouman muutos voi näkyä vasta vuosien tai jopa vuosikymmenten kuluttua lannoituksessa tapahtuneiden muutosten jälkeen (Grimvall ym. 2000, Vagstad ym. 2001). Varsinaisten kuormituslukujen ohella onkin sen vuoksi hyödyllistä tarkastella myös peltöjen *kuormituspotentiaalin* muutosta, johon vaikuttavat suoraviivaisemmin yksittäiset viljelytoimenpiteet, kuten lannoitus, mutta myös maatalouden yleiset kehityslinjat, kuten tuotantorakenteen alueelliset muutokset. Kuormituspotentiaalin muutoksista saadaan tietoa mm. peltöjen ravinnetaseiden ja maan ravinnetilan seurantojen avulla. Lopulta luonnonolot ratkaisevat, miten edellä mainitut muutokset toteutuvat kuormituksena.

3.1 Maatalouden tuotantosuunnat ja luonnonolot Itämeren eri osien valuma-alueilla

Maatalouden tuotantosuunnat ja maan ominaisuudet ovat erilaisia maan eri osissa. Suomenlahden rannikon ja Saaristomerren valuma-alueiden pelloista pääosa (noin 60 %) on savimaita, joilla viljellään viljaa. Tällaisilta alueilta tuleva fosforikuormitus kasvaa eroosion voimistuessa ja maan ravinnetitoi-

suuden kasvaessa. Pääosa eteläsuomalaisilta pelloilta poistuvasta fosforista kulkee vesiin maa-ainekseen sitoutuneena, erityisesti syksyllä ja keväällä maan ollessa muokattu. Etelässä on paikoin myös varsin kaltevia peltoja tai voimakkaasti jokiuomaan viettäviä törmiä, joiden eroosioriski on suuri (kuva 3). Tehokkaimmin eroosiota ja siitä aiheutuvaa fosforikuormitusta hillitsevien monivuotisten nurmien määrä on eteläisessä Suomessa pieni. Esimerkiksi Varsinais-Suomen pelloista alle 10 % on monivuotisten nurmikasvustojen peittämää.

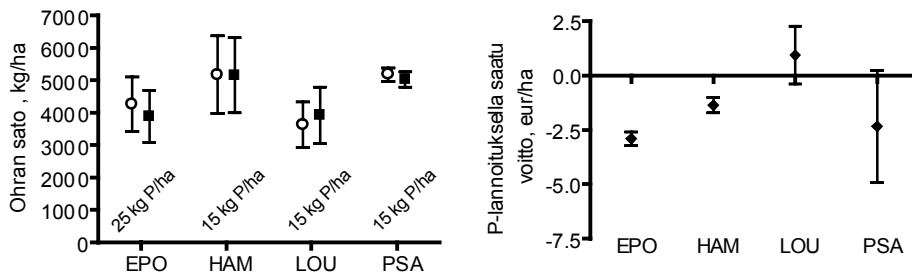
Eteläisen Suomen peltomaihin verrattuna Pohjanmaalla pellot ovat pääsääntöisesti karkeampirakeisia ja multavampia, minkä lisäksi maasto on tasaisempaa. Näin ollen eroosio ei ole keskeinen tekijä ravinnekuormituksen osalta länsirannikolla. Etelä-Pohjanmaata lukuun ottamatta Pohjanmaan rannikon peltoalasta on huomattava osa monivuotisten nurmien peittämää, johtuen maitotilojen runsaasta määrästä. Pohjanmaalla kuormitus muodostuu suuressa määrin valumaveteen liuenneista ravinteista kuin eteläisen Suomen savialueilla ja ravinnekuorma on vahvasti sidoksissa kotieläintalouden ravinnekiertoon. Koska kotieläinten lantaan kulkeutuu noin 70 % vuosittain korjattavan sadon sisältämästä fosforista, on kotieläintaloudella ratkaiseva merkitys maatalousmaan ravinnetilan kehityksen ja sitä kautta ravinteiden huuhtouman kannalta.



Kuva 3. Suomen kuntien alustava eroosioriskiluokitus (MMM 2004). Eroosioriskiluokkaan 1 (erittäin suuri eroosioriski) kuuluvassa kunnassa yli 20 % pelloista on savimaita ja kaltevuudeltaan 5 % ylittävien peltojen osuus kaikista peltolohkoista on yli viidennes.

Peltojen fosforipitoisuus kasvoi voimakkaasti 1980-luvun lopulle asti. Maan helppoliukaisen (viljavuusanalyysissä määritettävän) fosforin pitoisuuden kasvu näyttäisi taittuneen ympäristötukikausien aikana, mutta pitoisuuksien yleistä pienenemistä ei ole vielä todennettu. Tällä hetkellä esimerkiksi ympäristötuessa korkeimmat sallitut fosforilannoitusmäärät ovat vielä pääosin suurempia kuin sadon mukana maasta otettujen ravinteiden määrät. Lannoituksen fosforiylijäämä kasvattaa maan fosforin kokonaispitoisuutta, mikä ylläpitää huuhtoumaa ja korkeilla ylijäämillä kasvattaa sitä.

Viljanviljelyssä parhaan taloudellisen tuloksen antava lannoitustaso on alhaisempi kuin esimerkiksi nykyisen ympäristötuen ehtojen mukaiset suurimmat sallitut fosforilannoitusmäärät. Ellei maan helppoliukaisen fosforin pitoisuus ole hyvin alhainen, lannoituksella ei usein saada sellaista sadonlisää mikä kattaisi edes ostetun lannoitefosforin kustannuksen (kuva 4). Kasvintuotantotiloilla lannoitusylijäämät tulevatkin todennäköisesti pienenemään ja viljan tuotantoalueilta tuleva kuormitus tulee siten vähenemään tulevaisuudessa. Fosforilannoituksen vähenemisen nykyisestä tasostaan ei odoteta vaarantavan myöskään sadon laatua (Salo ym. 2004a).



Kuva 4. Vasen kuva: ohrasadot (lajike Erkki, N-lannoitus 100 kg/ha) ilman fosforilannoitusta (valkoiset ympyrät) tai suositusten mukaisella fosforilannoituksella (± 2 kg/ha, käytetyt lannoitusmäärät kuvassa; mustat neliöt). Kuvan koetulokset ovat neljällä MTT:n koeasemalla 2001–2003 mitattuja satoja (Issakainen 2003). Maan fosforiluokka oli ”välttävää” (EPO), ”tyydyttävää” (PSA), tai ”hyvää” (HAM, LOU) tasoa. Oikea kuva: em. kokeessa annetun fosforilannoituksen avulla saatu euromääräinen voitto, kun sadon arvo on 0,11 euroa/kg ja fosforin hinta 1,22 euroa/kg. Virhejanat ilmaisevat koevuosien keskiarvojen keskivirheen.

Kotieläintaloutta harjoittavilla tiloilla syntyy huomattavasti suurempia ravinne-
 neilyjämiä kuin kasvintuotantotiloilla (taulukko 1). Kun nykypäivän koti-
 eläintalouteen kuuluvat olennaisesti ostorehut, joiden mukana tiloille tulee
 huomattavasti enemmän ravinteita kuin niiltä viedään kotieläintuotteiden
 mukana, kotieläintilojen peltoihin levitetään lannassa kasvintuotannon kan-
 nalta ylimäärä ravinteita. Peltojen nykyinen fosforitila ja karjanlannan sisäl-
 tämä fosforimäärä ovat esimerkiksi Varsinais-Suomessa ja Pohjanmaalla sen
 suuruiset, että alueella syntyvä karjanlanta riittäisi yksinään peltojen ravinne-
 tilan ylläpitämiseen kasvintuotannon tarpeet tyydyttävällä tasolla.

Taulukko 1. Ravinnekuormituksen kannalta tärkeitä maaperän ja maatalou-
 den ominaispiirteitä Suomenlahden, Saaristomeren ja Pohjanlahden valuma-
 alueisiin kuuluvilla TE-keskusalueilla.

TE-keskusalue	Uusimaa	Varsinais-Suomi	Pohjanmaa
Vaikutusalue Itä- meressä	Suomenlahti	Saaristomeri	Pohjanlahti
Vallitsevat maalajit	savet, hieno hieta, hiesu	Savet, hieno hieta	eloperäiset maat (erit. Mm), hiedat
Tärkeimmät koti- eläimet (% eläinyk- siköiden määrästä) ¹	lypsylehmät (46), siat (30)	siat (63), siipikar- ja (14)	lypsylehmät (43), siat (31)
Eläinten määrä alueen kokonais- peltoalaa kohden	0,13 ey/ha	0,29 ey/ha	0,46 ey/ha
Kotieläintilojen hallussa oleva osuus peltoalasta	19 %	30 %	55 %
Eläintiheys koti- eläintilojen hallussa olevalla peltoalalla	0,67 ey/ha	0,89 ey/ha	0,80 ey/ha
Nurmien osuus peltoalasta	14 %	9 %	32 %
Lannan fosforia kokonaispeltoalalle	2,5 kg P/ha	7,8 kg P/ha	8,9 kg P/ha
Lannan fosforia kotieläintilojen pel- toalalle	12 kg P/ha	24 kg P/ha	16 kg P/ha
Kotieläintilojen peltojen fosforitase viljanviljelyssä	+ 1 kg P/ha	+ 13 kg P/ha	+ 5 kg P/ha

¹⁾ MMM TiKE 2005 (vuoden 2004 tietojen mukaan).

3.2 Alueelliset typpi- ja fosforitaseet

Peltojen ravinnetaseet ilmaisevat maahan lisättyjen ravinteiden ja sadossa pellolta poistuneiden ravinteiden määrän erotuksen. Positiivinen tase merkitsee maan ravinnepitoisuuden kasvattamista, mikä johtaa lopulta ravinnepäästöjen lisääntymiseen. Negatiivinen tase puolestaan merkitsee maassa olevien ravinnereservien hyödyntämistä. Suomen peltojen keskimääräinen typpitase on pienentynyt 1980–90-lukujen taitteen ja vuoden 2002 välisenä aikana tasolta +90 kg/ha tasolle +50 kg/ha (Salo ym. 2004b, taulukko 2). Vähennys on johtunut lähes yksinomaan mineraalilannoituksen vähentymisestä, kun sadon maasta ottama typpimäärä ja lannan mukana tullut määrä ovat pysyneet lähes muuttumattomina koko tarkastelujakson ajan. Samaan aikaan fosforitase on pienentynyt tasolta +30 kg/ha tasolle +8 kg/ha (MMM 2004).

Typpitase on tällä hetkellä korkein Varsinais-Suomessa sekä Keski-Pohjanmaalla, jälkimmäisellä alueella myös fosforitase on maan korkein. Korkeiden taseiden taustalla on kotieläintuotannon keskittyminen näille alueille. Kun rehuviljaa tuotetaan melko tasaisesti koko maassa, mutta kulutetaan keskitetysti muutamilla alueilla, päätyy rehujen sisältämä ravinnemäärä vain arviolta kolmannekselle peltoalasta ja nostaa tämän peltoalan ravinneylijäämiä voimakkaasti. Nautakarjatalous on keskittynyt Pohjanmaalle ja Pohjois-Savoon, kun taas sika- ja siipikarjantuotantoa on eniten Varsinais-Suomessa ja Satakunnassa.

Typpitaseen huomattava lasku vuodesta 1990 on todennäköisesti vähentänyt peltomaiden kuormituspotentiaalia, sillä pellon vuosittaisen typpitaseen pienentyminen vähentää maahan syksyllä jäävän mineraalitypen määrää ja pienentää typen huuhtoutumisriskiä (Salo ym. 2004b, Salo ja Turtola 2006, Lemola ja Turtola 2006).

Fosforin osalta taseylijäämän pienentyminen ei vielä ole johtanut merkittävään kuormituspotentiaalilaskuun. Ylijäämäfosforin taipumus varastoitua maahan johtaa maan ja valumavesien fosforipitoisuuksien melko hitaaseen kasvuun. Kun kasvu on kerran tapahtunut, fosforin pitoisuudet myös pysyvät pitkään samalla kohonneella tasolla. Fosforitaseet ovat edelleen korkeita niillä alueilla ja pelloilla, joilla on jo entuudestaan paljon helppoliukoista fosforia. Vuoden 2006 lopussa päättyneellä ympäristötukikaudella oli mahdollista antaa peruslannoitus (viljoille väkilannoitefosforia 15 kg/ha, karjanlannan fosforia 20 kg/ha, nurmille vastaavasti 15–30 ja 20–37 kg/ha) myös korkeissa fosforiluokissa, ja näin on ilmeisesti menetelty monilla pelloilla (Pyykkönen ym. 2004). Tästäkään syystä pellon helppoliukoisen fosforin pitoisuudet eivät ole pienentyneet siellä, missä ne ovat olleet tarpeettoman korkealla tasolla.

Taulukko 2. Peltöjen keskimääräinen typpitase ja fosforitase eri maaseutu-keskusten alueella.

Maaseutukeskus	Typpitase kg/ha				Fosforitase kg/ha			
	1990	1995	2000	2002	1990	1995	2000	2002
Uusimaa ja Nylands sv.	79	66	38	48	25	14	3,3	4,0
Farma ja Finska hushålln.	93	80	63	64	29	18	6,7	7,1
Satakunta	82	69	46	50	30	20	7,2	7,4
Pirkanmaa	77	55	35	35	32	23	10	5,7
Häme	87	87	51	50	22	13	4,1	7,2
Päijät-Häme	82	63	34	33	27	17	6,6	5,8
Kymenlaakso	83	73	40	38	25	16	5,1	4,1
Etelä-Karjala	84	73	45	44	29	20	8,5	7,3
Mikkeli	88	64	50	32	31	20	9,5	7,4
Pohjois-Savo	125	80	60	50	34	21	12	9,8
P-Karjala	105	63	46	38	32	20	9,7	8,0
Keski-Suomi	98	53	44	40	29	16	8,7	7,5
E-Pohjanmaa	89	65	56	47	32	20	10	8,1
Österb. sv.	58	51	44	45	28	21	11	13
K-Pohjanmaa	119	90	72	63	36	26	14	14
Oulu	90	63	45	39	30	20	8,9	7,9
Kainuu	137	91	58	45	40	25	11	8,7
Lappi	99	75	60	39	34	24	11	9,5
Manner-Suomi	86	81	54	52	30	19	8,3	7,7

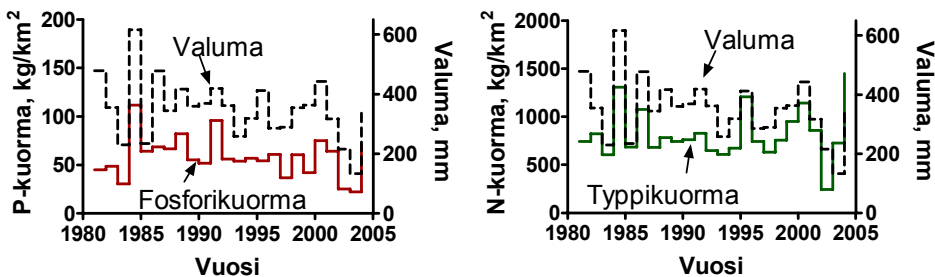
3.3 Ravinnekuormien seuranta

Maatalouden kuorman osalta ravinnekuormituksen arviointi perustuu suurelta osin pienillä maatalousvaltaisilla valuma-alueilla, sekä eräissä Itämereen laskevissa jokivesistöissä tehtyihin seurantatutkimuksiin (mm. Vuorenmaa ym. 2002, Räike ym. 2003, Granlund ym. 2005). Pienillä valuma-alueilla ei ole lainkaan ravinteita pidättäviä järviä, joten ne soveltuvat hyvin maataloudesta peräisin olevan ravinnehuuhtouman tarkasteluun. Vaikka ravinnevirtaamat edustavat koko valuma-alueelta tulevaa kuormaa, ml. metsäalueilta tuleva taustakuormitus, on maatalouden kuormitus tutkituilla alueilla vallitseva.

Maatalouden ravinnekuormituksen kehitystä voidaan tarkastella esimerkiksi Savijoen maatalousvaltaisen valuma-alueen vedenlaatu- ja virtaamatietöjen

perusteella (kuva 5). Ravinnekuormat riippuvat pitkälti valunnasta, ja siksi niiden vaihtelu on huomattavaa. Kun valuman muutokset otetaan huomioon, pinta-alakohtaiset ravinnekuormat ovat Savijoen valuma-alueella pysyneet käytännössä muuttumattomina jakson 1981–2004 aikana (Granlund ym. 2005, Leivonen 2005).

Intensiivisesti viljellyillä jokivaluma-alueilla (Porvoonjoki, Vantaanjoki, Uskelanjoki, Paimionjoki, Aurajoki, Lapuanjoki) hajakuormituksen typpivirtaamat ovat pysyneet ennallaan tai jopa nousseet (etenkin Lapuanjoessa), kun taas fosforivirtaamat ovat kaudella 2000–2004 olleet hieman pienempiä kuin vertailukaudella 1990–1994 (näissä tarkastelussa pistekuormituksen osuus on siis vähennetty joen ravinnevirtaamista). Sääolosuhteiden vaihtelun vaikutukset huomioon ottaen jokien ravinnepitoisuuksissa ei kaudella 1990–2004 voida havaita merkittäviä muutoksia. Maatalouden kuorman pysyminen ennallaan ja samanaikainen pistekuormituksen selkeä vähentyminen on viime vuosikymmenten aikana lisännyt maatalouden suhteellista osuutta Itämeren laskevien jokien kuljettamissa ravinnekuormissa (Räike ym. 2003). Se, että maataloudesta peräisin oleva kuorma ei ole muuttunut, on odotusten mukaista maan ravinnevarojen hitaan muutoksen ja edelleen ylijäämäisten ravinnetaseiden valossa.



Kuva 5. Fosforin ja typen kokonaiskuormat Savijoen valuma-alueella ajanjaksoilla 1981–2004.

3.4 Ilmastonmuutos ja ravinnekuormitus

Suomen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelmassa (SILMU) vuosina 1990–1995 arvioitiin laajasti ilmastonmuutoksen vaikutuksia hydrologiaan, maa- ja vesiekosysteemeihin sekä maa- ja metsätalouteen. Mallitarkastelujen tueksi selvitettiin leutoina talvikausina mitattuja ravinnevirtaamia maatalousvaltaisilla alueilla esimerkkeinä oletetuista oloista tulevassa leudossa ilmastossa (Roos 1996).

Ennustettu sadannan kasvu ja lämpötilan kohoaminen lisäävät typen huuhtoutumista maatalousmaasta, erityisesti eteläisessä ja läntisessä Suomessa (Bila-

letdin ym. 1996, Kallio ym. 1997). Pääsyyinä tähän on orgaanisen aineksen mineralisaation kiihtyminen maaperässä ja veden virtauksen lisääntyminen maaprofiilissa. Suomenlahteen ennustevuosina (2020, 2050, 2090) päätyvän fosforin kokonaiskuorman arvioitiin kasvavan 4, 8 ja 12 % ja typen kuorman 4, 6 ja 11 %. Malliennusteiden suuntaista kehitystä tukevat leutojen talvien aikana mitatut kohonneet typpihuuhtoumat Etelä-Suomen valuma-alueilla. Ekholmin ja Kallion (1996) mukaan Paimionjoen kokonaistypen keskipitoisuus oli jopa 45 % korkeampi leudolla jaksolla 1989–1992 kuin vertailujaksolla 1984–1988, jolloin talvet olivat normaaleja. Erityisesti syksyn ja talven typpivirtaama oli leutoina talvina yli kolminkertainen normaalikuorma verrattuna. Myös Puustisen (2007) tutkimuksessa mitattiin Aurajoen koekentällä leutojen talvien aikana huomattavasti korkeampia kiintoaines- ja ravinnepitoisuuksia valumavesissä kuin normaaleina talvina.

3.5 Maataloudesta peräisin olevan fosforin biologinen käyttökelpoisuus

Maatalous kuormittaa rannikkovesiä ravinteilla, jotka ovat liuenneena veteen tai sitoutuneena kiintoaineeseen. Kiintoainesfosforin merkitys on suuri savi-alueiden vesistöissä, kun taas kirkkaammissa valumavesissä fosfori on pääosin veteen liuenneessa muodossa. Liuenneessa muodossa olevat epäorgaaniset ravinteet sekoittuvat vesimassaan ja ovat perustuottajien käytettävissä välittömästi. Kiinteän aineksen sisältämät ravinteet taas ovat vain pieneltä osin välittömästi perustuottajien käytettävissä ja valtaosa kiintoaineen mukana kulkevista ravinteista laskeutuu vesistöjen pohjalle. Kuitenkin pohjasedimentissä kiintoaines läpikäy prosesseja, joissa ravinteet voivat vapautua sedimentin huokosveteen, mistä ne voivat sopivissa oloissa siirtyä takaisin yläpuoliseen veteen. Näin ollen molemmat ravinnepitoisuudet voivat aiheuttaa rehevöitymistä.

Levätesteillä määritetyn biologisesti käyttökelpoisen fosforin osuus eteläisen Suomen savialueiden maatalouden kokonaisfosforikuormituksesta on noin 30 %, josta kiintoainesfosforin osuus on karkeasti puolet (Ekholm ja Krogerus 1998, Uusitalo ja Ekholm 2003, Uusitalo ja Ekholm 2004). Rehevöittävältä vaikutukseltaan tämä osuus ei välttämättä vastaa koko käyttökelpoisen fosforin osuutta mereen päätyvästä kuormasta, sillä pohjasedimentin hapettomissa oloissa tapahtuva raudan pelkistyminen vapauttaa hapellisissa oloissa sitoutuneen fosforin huokosveteen. Mikäli sedimentti on kykenemätön sitomaan fosforia, pelkistyneissä oloissa liuenut fosfori vapautuu yläpuoliseen veteen ja edelleen sekoittumisen seurauksena levien ulottuville. Laboratorio-kokeiden tulosten mukaan jopa 60 % maatalouden valumavesien kiintoaineen fosforista voisi raudan pelkistymisen seurauksena muuttua käyttökelpoiseksi (Uusitalo ja Turtola 2003). Tämä luku kuitenkin todennäköisesti yliarvioi kiintoaineen käyttökelpoisen fosforin määrää, sillä sekä rauta että fosfori kiertyvät pohjasedimentissä. Vaikka raudasta vapautuukin sen pelkistymisen

seurauksena fosforia syvemmissä sedimenttikerroksissa, vapautunut fosfori voi saostua uudelleen raudan kanssa ylemmissä, hapettuneissa sedimenttikerroksissa. Näin ollen vain osa edellä mainitulla tavalla liuenneesta fosforista päätyisi sedimentin yläpuoliseen veteen.

Sen lisäksi, että maatalouden fosforikuorman biologinen käyttökelpoisuus vaihtelee alueellisesti sen mukaan, missä suhteessa valumavesissä on liuenutta ja kiintoaineeseen sitoutunutta fosforia, myös rannikkoalueidemme pohjasedimenttien fosforinpidätyskyvyssä on alueellisia eroja. Esimerkiksi Kymijoen Ahvenkoskenlahdella rautaan sitoutunutta fosforia vapautuu huomattavia määriä takaisin veteen, kun taas Paimionjoen jokisuistossa pohjasedimentin rauta pidättää hyvin fosforia. Raudan ohella esimerkiksi sedimenttiin vajoavan orgaanisen aineen määrä saattaa vaikuttaa fosforin sitoutumislujuteen ja aiheuttaa tämän kaltaisia eroja pohja-alueiden välillä.

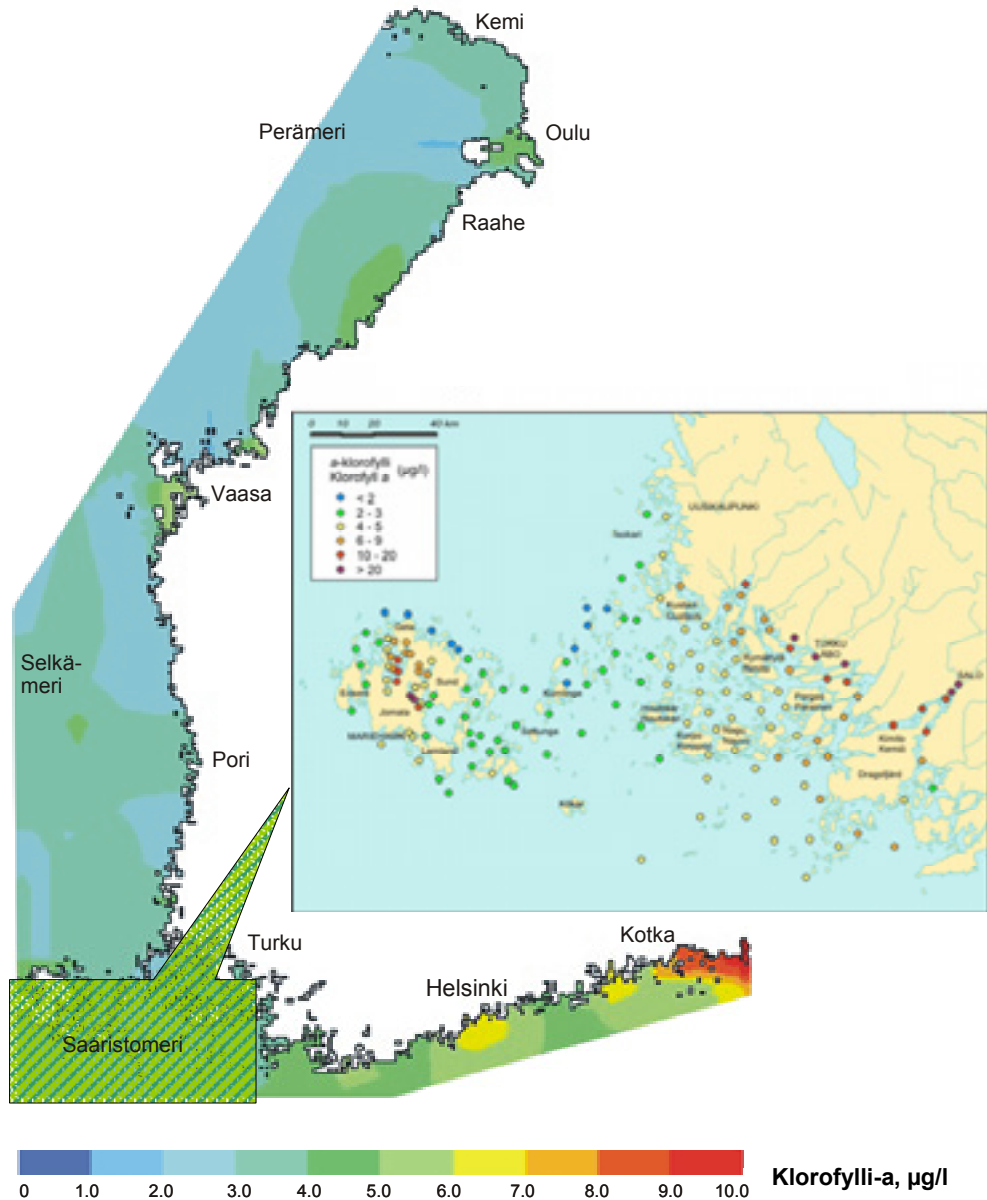
4 Rehevöityminen eri merialueilla

Maatamme ympäröivän merialueen yleistila ja rehevyysolot määräytyvät luonnonolojen ja merialueen kokonaiskuormituksen yhteisvaikutuksen tuloksena. Suomen viljelty peltoala sijaitsee suurelta osin Pohjanlahden, Saaristomerellä ja Suomenlahden rannikkoalueilla. Huomattava osa maatalouden ravinnekuormasta päätyy mereen alueilla, jotka ovat mataluutensa sekä saaristojen ja matalikkojen heikentämän veden vaihtuvuuden vuoksi herkkiä rehevöitymiselle. Eteläisellä ja lounaisella rannikolla maatalous on suurimpien kaupunkien edustoja ja Kymijoen suuta lukuun ottamatta selkeästi suurin ravinnekuormittaja. Pääkaupunkiseudun ja Turun edustoille tulee jokien välityksellä ravinteita enemmän maataloudesta kuin näiden kaupunkien puhdistetuista jätevesistä.

Saaristomerellä sisäsaaristo Uudenkaupungin ja Hangon välisellä alueella (kuva 6) on selvästi laajin yhtenäinen lähes pelkästään maatalouden rehevöittävä rannikkovesialue. Tälle alueelle laskee lukuisia maatalouden ravinteita tuovia pieniä jokia. Sisäsaariston vesien keskimääräinen kesäaikainen leväbiomassa on 3–4 -kertainen Saaristomerellä ulkosaaristoon verrattuna (Suomela 2001). Alueen muita kuormittajia ovat asutuksen puhdistetut jätevedet, jotka maatalouden ohella rehevöittävät etenkin Turun edustan vesiä. Saaristomerellä väli- ja ulkosaariston vesiä rehevöittää myös kalankasvatus, jonka kuormitus on kuitenkin 1980-luvulta alkaen vähentynyt kalantuotannon pienenemisen ja rehujen fosforipitoisuuden alenemisen myötä (Kirkkala 1998, Leivonen 2005).

Suomenlahden rannikkovesissä maatalouden merkitys rehevöittäjänä ei ole niin yksiselitteinen kuin Saaristomerellä sisäosissa. Pääosin maatalouden kuormittamat joet laskevat mereen Helsingin ja Virojoen välillä. Läntisellä Suomenlahdella Hankoniemen ja Porkkalanniemen välillä saaristoalueen

yleinen rehevöityminen ei pienten jokien suualueita lukuun ottamatta kuitenkaan selity maalta peräisin olevalla kuormalla, vaan merialueen yleisellä rehevöitymiskehityksellä. Avomereltä peräisin olevien ravinteiden rehevöittävä vaikutus näkyy korostuneena näiden alueiden matalissa rannikkovesissä.



Kuva 6. Suomea ympäröivien merialueiden keskimääräinen rehevyys heinäsyyskuussa 1997–2001 a-klorofyllinä (Pitkänen ym. 2004). Sisäkuvassa Saaristomerien kesäaikainen a-klorofyllin keskimääräinen pitoisuus vuosina 2003–2005 (Janne Suomela, Lounais-Suomen ympäristökeskus).

Vaikka Selkämeren ja Perämeren rannikkovesiin laskee useita varsin voimakkaasti maatalouden kuormittamia jokia, selvästi rehevöityneiden vesialueiden koko on yleensä varsin pieni. Rannikon avoimuuden ansiosta rehevöitynyt rannikkovyöhyke on kapeampi kuin Saaristomerellä. Suhteellisen laaja, pääasiassa maatalouden rehevöittämiä alue sijaitsee Merenkurkussa Kyrönjoen edustalla. Kokemaenjoen edustalla erityisesti Pihlavanlahden rehevöityminen johtuu maatalouden kuorman lisäksi asutuksen ja teollisuuden ravinnepäästöistä.

Maatalouden ravinnekuorma Suomen rannikkovesiin on pysynyt melko muuttumattomana viimeiset 20 vuotta, eikä voida olettaa, että maatalouden rehevöittävä vaikutus rannikkovesissä olisi suuresti muuttunut tänä aikana. Pääkaupunkiseudun, Oulun ja Kymijoki-Kotkan rannikkovesissä tapahtunut tilan paraneminen liittyy selvästi asutuksen ja teollisuuden ravinnekuormien pienenemiseen (Kauppila ja Bäck 2001, Pitkänen 2004).

Pelkästään Suomesta peräisin olevaa ravinnekuormaa leikkaamalla voidaan ennen kaikkea vaikuttaa rannikkovesien ja sisävesien tilaan, mutta vain vähän avoimen Itämeren rehevöitymiskehitykseen. Suomen Itämeren suoje-luohjelman valmistelun yhteydessä tehtyjen mallinnusennusteiden mukaan (Kiirikki ym. 2003) kotimaisen ravinnekuorman pienentäminen ohjelman mukaisella noin 40 %:lla alentaisi Suomenlahden rannikkovesialueen yleistä rehevyystasoa (leväbiomassaa) kasvukaudella 5–15 %. Kun noin puolet Suomenlahden ravinnekuormasta on maataloudesta peräisin, voidaan arvioida, että ohjelman tavoitteen mukainen leikkaus vain maatalouden osalta alentaisi yleistä rehevyystasoa parhaimmillaan 5–10 %. Sisäsaaristossa ja jokien edustoilla vaikutus olisi kuitenkin selvästi suurempi, luultavasti luokkaa 20–25 %.

Saaristomerellä Itämeriohjelman mukainen kuormitusvähennys toisi korkeintaan noin 25 % vähenemän sisä- ja välisaariston rehevyystasoon. Kun alueen ravinnekuormasta valtaosa on maataloudesta peräisin, voidaan tätä pitää karkeana arviona myös maatalouden kuormitusleikkausten vaikutukselle. On kuitenkin selvää, että maatalouden hajakuorman pienentäminen sekä fosforin että typen osalta 40 % nykykuormiin verrattuna on erittäin vaikeasti toteutettavissa. Realistisemman arvion mukaan tehokkailla vesiensuojelutoimilla voidaan päästä fosforin osalta 20–30 % ja typen osalta 10–20 % vähennykseen vuoteen 2025 mennessä. Tämä merkitsisi sitä, että Itämeriohjelman tavoitteista saavutettaisiin noin puolet ja myös ohjelmaa arvioitaessa oletettu vaikutus rannikkovesien rehevyystasoon karkeasti puolittuisi. Siten voisimme Saaristomerän sisä- ja välisaaristossa parhaassa tapauksessa päästä tasolle, jossa leväbiomassan määrä olisi 10–15 % nykyistä alhaisempi.

5 Kuormituksen vähentäminen

5.1 Tuotantopanosten kestävä käyttö

Peltojen helppoliukoisen fosforin pitoisuuden ja valumaveden liuenneen fosforin pitoisuuden välinen yhteys on varsin suoraviivainen (Uusitalo ja Jansson 2002). Näin ollen peltojen helppoliukoisen fosforin pitoisuuden muutoksista voidaan arvioida kuormituksen kehitystä. Siellä missä lannoitussuosituksen tarkennuksilla on voitu pienentää tarpeettoman korkeita maan ravinnepitoisuuksia, myös kuormitus on vähentynyt. Sen sijaan pyrkimys nostaa vähemmän viljaviksi luokiteltujen maiden ravinnetilaa ”tyydyttävälle” tasolle on syönyt korkeiden viljavuuslukujen alenemisesta saatuja hyötyjä. Vaikka lannoitteiden käyttö on vähentynyt huomattavasti muutaman viime vuosikymmenen aikana, fosforia lisätään vieläkin peltoon enemmän kuin sadon mukana sitä poistuu. Tämän seurauksena fosforitaseet ja pellon helppoliukoisen fosforin pitoisuudet ovat pysyneet niin korkeina, että maatalouden kuormituspotentiaali ei ole vielä kääntynyt selkeästi laskuun.

Tulevaisuudessa lannoitusmäärät tulevat kasvinviljelytiloilla todennäköisesti pienentymään, sillä tämän päivän hintasuhteilla viljelijä ei saa tulonlisää entisen suuruisen lannoituksen antamasta pienestä sadonlisästä. Fosforikuorma Itämereen ja sisävesistöihin tulee hitaasti pienentymään Uudenmaan kaltaisilla alueilla, joilla valtaosa peltoalasta on kasvintuotantotilojen käytössä.

Ravinnekuormituksen kehitys on hyvin epävarmaa Varsinais-Suomessa ja Satakunnassa tai Pohjanmaalla, joille on syntynyt tai syntymässä vahvoja kotieläintalouden keskittymiä. Ostorehujen varassa toimivien kotieläintilojen ravinnetaseet (erityisesti fosforitaseet) ovat huomattavan ylijäämäisiä ja peltojen ravinnevarat jo valmiiksi suhteellisen suuria. Täten pinta-alakohtaiset kuormat ovat edelleen kasvussa. Kuormitus voi tässä tilanteessa laskea ainoastaan, jos lanta saadaan sijoitettua sellaisille lohkoille, joiden ravinnetila edellyttää lannoittamista. Alueellisten fosforitaseiden perusteella esimerkiksi Varsinais-Suomen peltojen fosforilannoitustarve tyydyttyisi kokonaan kotieläinten lannan fosforilla. Karjanlantaa olisikin saatava leviämään nykyistä selvästi enemmän niille kasvintuotantotiloille, jotka tuottavat rehuviljaa. Lannan levitysalan kasvattamiseen tähdätään uuden ympäristötukiohjelman luonnoksessa sillä, että lannan fosforin laskennallinen käyttökelpoisuus nostetaan 75:sta 85 prosenttiin (lantafosforin käyttökelpoisuudesta kts. mm. Kempainen 1989).

Myös karjanlannan levitysmenetelmiin ja -ajankohtiin sisältyy edelleen kuormituksen kannalta ongelmallisia seikkoja. Paras aika lannanlevitykseen on periaatteessa kasvuston perustamisen yhteydessä keväällä, mutta kevätkiireet ja peltojen tiivistymisriski aiheuttavat tarpeen levittää lantaa myös syksyllä. Lannan syyslevitys lisää typen huuhtoutumisriskiä. Huuhtoutuman

kasvu on kuitenkin vähäisempää, jos lanta levitetään suhteellisen myöhään ja mullataan levityksen jälkeen (Turtola ja Kemppainen 1998). Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimuksen (MYTVAS) tilaajaastattelujen mukaan karjanlannasta levitetään edelleen noin viidennes syksyisin (Pyykkönen ym. 2004). Lannan pintalevityksen laajuudesta ei ole tarkkoja tietoja, mutta erityisesti nurmille tehtynä se aiheuttaa suuria liukoisen fosforin ja ammoniumtyypen päästöjä pintavalunnassa (Turtola ja Kemppainen 1998).

Ravinnetasetarkastelujen käyttöönotto tiloilla voisi vähentää ympäristökuormitusta. On arvioitu, että monilla maidontuotantotiloilla fosforitase voitaisiin puolittaa nykyisestä taloudellisen tuloksen kärsimättä, jos kivennäisfosforin syöttö ja väkilannoitefosforin tarpeeton käyttö lopetettaisiin (prof. P. Huhtanen, MTT, henkilökohtainen tiedonanto). Ruokintataseen laskenta auttaa optimoimaan ruokintaa ja vähentämään karjanlannan fosforisisältöä, samalla kun laskennalla saada tarkempaa tietoa lantafosforin määrästä lannoitussuunnittelun pohjaksi.

Satomäärän kasvattaminen lannoitusintensiiteettiä lisäämällä johtaa ravinnetaseiden ja -kuormien kasvuun. Esimerkiksi Pietolan ym. (1999) nelivuotisen typpilannoituskokeen tuloksista laskien typpitase kohosi kutakin 30 kg/ha suuruista typpiporrasta kohti viljoilla keskimäärin 15–16 kg/ha ja rypsilä 21 kg/ha. Tässä tilanteessa lannoitus siis kasvatti typpitasetta jopa voimakkaammin kuin sadon tynnetonnot ja lisäsi pellon kuormituspotentiaalia.

Lannoituksen lisäämisen sijasta olisi usein järkevämpää lisätä satopotentiaalia pellon vesitaloutta säätämällä ja happamuuden vähentämisen keinoin. Toimiva salaojitus parantaa kasvien juuriston hapensaantia kriittisinä aikoina ja lisää kasvien juuristomassaa. Laajemman juuriston avulla kasvit voivat ottaa ravinteita ja vettä suuremmasta maatilavuudesta, mikä kasvattaa ravinteiden ottoa, lisää satoa, parantaa lannoitteiden hyötykäyttöä, ja siten pienentää typpitasetta (Salo ja Turtola 2006, Alakukku ym. julkaisematon aineisto). Happamien maiden kalkituksella parannetaan niin ikään maan rakennetta ja kasvien kasvuedellytyksiä, mikä vaikuttaa edullisesti mm. kasvien ravinteiden ottoon. Epävarmuus tuotannon jatkumisesta, pellon vuokrauksen yleistyminen ja perusparannusten kalleus ovat kuitenkin johtaneet siihen, että pellon yleisestä kasvukunnosta ei huolehdi riittävästi. Peltojen kalkitusmäärät ovat jääneet tavoitteistaan ja pellon vesitalouden kunnossapito (usein yhtä kuin salaojituksen kunto) ei ole riittävällä tasolla. Osa vuokrapelloista sijaitsee kaukana, jolloin esimerkiksi kylvötoita ei saada tehtyä optimaalisissa kosteusoloissa. Märän maan muokkaus tiivistää maata ja lisää eroosioriskiä. Pellon ojituksen kunnossapito ja tiivistämisen välttäminen olisivat kuitenkin perusedellytyksiä paitsi päästöjen vähentämiselle myös hyvälle sadoille.

Maan eroosioalttius eteläisessä Suomessa on kasvanut, koska yhä pienempi osa peltoalasta on talvisin aidosti kasvipeitteellistä, kuten monivuotisia nur-

mia ja laitumia. Eteläisen Suomen yksipuolinen viljely on alkanut näkyä maan rakenteen huononemisenä. Huonorakenteisessa maassa jää myös ravinteita käyttämättä, mikä nostaa satoyksikköä kohden käytettyjen panosten määrää, eli huonontaa viljelyn taloutta. Lisäksi riski ravinteiden huuhtoutumiselle kasvaa. Etelä-Suomessa sijaitsevat myös kaikkein eroosioherkimmät alueet, jotka luokiteltiin alustavasti horisontaalisen maaseudun kehittämissuunnitelman väliarvioinnin yhteydessä (MMM 2004, kuva 3). Viherkesannon ja hoidetun viljelemättömän peltoalan kasvu lisää aidon kasvipeitteisyyden määrää, ja vähentää eroosiota sekä typpikuormitusta (Turtola 1993). Tärkeää on myös, että runsaasti maahan orgaanista ainesta jättäviä kasveja viljellään osana viljelykiertoja.

5.2 Muokkaustoimenpiteet

Maatalouden kuormituksesta suurin osa muodostuu kasvukauden ulkopuolella (Puustinen ym. 2007), minkä vuoksi maan pinnan kasvipeitteisyys ja muokkaustavat vaikuttavat etenkin eroosioon, mutta myös typpikuormituksen suuruuteen. Suomen ympäristökeskuksen ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen pitkäaikaisista koekenttätutkimuksista saadut kuormitusaineistot on koottu yhteen ja niiden perusteella on luotu VIHMA-arviointimalli (Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli).

VIHMA-mallin avulla on arvioitu maan pinnan kasvipeitteisyyden (taulukko 3) ja kaltevuuden (taulukko 4) vaikutusta eroosioon. Eroosio ja maa-ainesfosforin kulkeutuminen painottuvat edellisten lukujen pohjalta laskien voimakkaasti kalteville pelloille (taulukko 5). Suurimman kaltevuusluokan (yli 6 %:n kaltevuus) osuus kokonaiseroosiosta on kolminkertainen vastaavaan pinta-alaosuuteen verrattuna.

Taulukko 3. Keskimääräisiä kuormituslukuja syyskuun alusta seuraavan vuoden syksyyn erilaisilla pellon käyttömuodoilla. Lukuihin sisältyvät kaikki peltojen kaltevuudet (VIHMA).

Maan pinnan laatu syksystä kevääseen	Eroosio	Maa-ainesfosfori
Pysyvästi kasvipeitteiset	250	0,41
Oraspeittävyys (syysvehnä)	600	0,69
Syyskylvä	800	0,85

Taulukko 4. Keskimääräisiä kuormituslukuja erilaisilla peltojen kaltevuusluokilla. Lukuihin sisältyvät keskeisimmät peltojen tilanteet kasvukauden ulkopuolella (VIHMA).

Kaltevuusluokka %	Eroosio	Maa-ainesfosfori
Alle 0,5	280	0,40
0,5–1,5	450	0,51
1,5–3,0	790	0,77
3,0–6,0	1280	1,66
Yli 6,0	1970	2,90

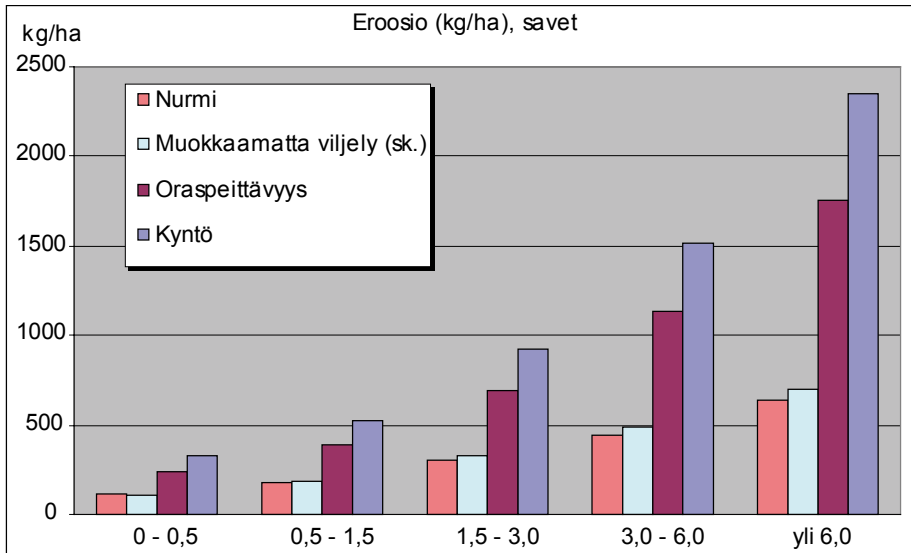
Taulukko 5. Peltoalan ja kokonaisvuosikuormituksen jakauma (%) pellon kaltevuusluokkiin (VIHMA).

Kaltevuusluokka	Peltoalan jakauma	Eroosio	Maa-ainesfosfori
Alle 0,5 %	39	17	21
0,5–1,5 %	25	17	17
1,5–3,0 %	19	24	18
3,0–6,0 %	10	21	20
Yli 6,0 %	7	21	24
Yhteensä	100	100	100

Muokkauksen ajankohtaa muuttamalla ja intensiteettiä keventämällä voidaan eroosiota sekä maa-ainekseen kiinnittyneen fosforin ja typen kuormitusta vähentää samanaikaisesti. Kasvipeitteisyyttä ja muokkaamatta viljelyä tulee kohdentaa erityisesti kalteville pelloille (kuva 7). Tällöin eroosion ja sen mukana kulkeutuvan fosforikuorman vähentyminen on merkittävää ja samanaikaisesti typpikuormitus alenee. Tasaisilla pelloilla edelliset toimenpidemuutokset alentavat typpikuormitusta, mutta vähentävät eroosiota ja hiukkasmaisen fosforin kuormaa vähemmän kuin jyrkillä pelloilla. Liuenneen fosforin huuhtoutuma kuitenkin kasvaa mainituilla toimenpiteillä. Tätä riskiä voidaan pienentää pidemmällä aikavälillä alentamalla peltojen korkeaa fosforilukua.

VIHMA-mallin avulla voidaan tehdä esimerkiksi seuraavanlainen kuormitusarvio: jos syyskynnöistä luovutaan kokonaan kaikilla yli 1,5 % kaltevuuden omaavilla pelloilla ja kyntö korvataan nurmella, suorakylvöllä tai jättämällä pelto sängelle, eroosio vähenisi koko maan tasolla noin 30 %, hiuk-

kasvaisen fosforin kulkeutuminen 25 %, liuenneen fosforin huuhtoutuminen kasvaisi 10 % ja typpikuormitus alenisi 10 %. Jos sama muutos toteutetaan kaikilla tasaisilla mailla (kaltevuus < 1,5 %), eroosio ja hiukkasmaisen fosforin kulkeutuminen vähentyisi koko maassa noin 10 %, liuenneen fosforin huuhtoutuma kasvaisi lähes 20 % ja typpikuormitus vähentyisi 20 %.



Kuva 7. Keskimääräinen vuotuinen eroosio savimaalta eri maankäyttömuodoilla ja kaltevuusluokissa.

Suojavyöhykkeiden merkitys kuormituksen alentajana perustuu siihen, että osa pellosta jää pysyvästi kasvipeitteiseksi, ja toisaalta suojavyöhyke toimii osittain yläpuoliselta pellolta tulevan pintavalunnan suodattajana. Suojavyöhykkeen kokonaisvaikutus riippuu voimakkaasti pellon kaltevuudesta ja maankäyttömuodosta. Tasaisilla pelloilla suojavyöhykkeellä ei saada aikaiseksi sanottavaa vesiensuojeluhuötystä. Samoin suojavyöhyke ei yleensä kykene vähentämään liukoisen fosforin kuormitusta (Uusi-Kämpä ym. 2000, Uusi-Kämpä ja Palojärvi 2006).

Kosteikkojen vaikutus on voimakkaasti riippuvainen kosteikon suhteellisesta koosta valuma-alueeseensa nähden ja toisaalta valuma-alueelta tulevassa vedessä olevien kuormittavien aineiden pitoisuudesta, sekä perustamispaikan maan ominaisuuksista (kts. Uusi-Kämpä ym. 2000, Koskiahho ym. 2003, Koskiahho ja Puustinen 2003, Liikanen ym. 2004). Suomen maatalouden kokonaiskuormituksesta kosteikoilla ja suojavyöhykkeillä saataneen pidättämään 5–10 %.

5.3 Maatalouspolitiikan vaikutus

Maatalouspolitiikka ja maataloustuet vaikuttavat merkittävästi maatalouden tuotantoon ja sen intensiteettiin, vaikkakin alueellisen tuotantorakenteen muuttuminen tulee nähdä laajemmin kuin vain maatalouspolitiikan suorana seurauksena. Viljelijöiden osaamisella ja sen kehittymisellä, sekä maataloustuotteiden markkinoiden muutoksilla on suuri merkitys kehitykseen. EU:n maatalouspolitiikkaa ollaan parhaillaan uudistamassa siihen suuntaan, että tuotanto määräytyy maataloustukien sijasta aiempaa selvästi enemmän markkinoiden ja niiden hintamuutosten mukaan.

Kotieläintilojen lukumäärän voimakas väheneminen ja vastaavasti jäljelle jääneiden kotieläintilojen koon kasvu ovat olleet pääasiallisena trendinä Suomen maatalouden rakennekehityksessä viimeisen kymmenen vuoden aikana. Samalla kotieläintuotanto on keskittynyt entistä enemmän alueille, joilla tuotanto on ollut ennestäänkin menestyvää ja laajenevaa (Lehtonen ja Pyykkönen 2005). Koko maan tasolla kehitys on ollut kaksijakoista: tuotanto on vähentynyt laajoilla alueilla mutta lisääntynyt etelässä ja lännessä, erityisesti Varsinais-Suomessa ja Pohjanmaalla.

Kotieläintilojen investointeja tehdään tyypillisesti tiloilla, joilla on jo ennestäänkin investoitu tuotantoon, ja vaikka edelliset investoinnit olisi tehty aivan viime vuosina (Heikkilä ym. 2004). Sen sijaan pääomakannan korkea ikä, eli tuotantovälineistön kuluminen, ei juurikaan selitä tehtyjä investointeja. Osavat ja tuotannon laajentamisen hallitsevat viljelijät jatkavat tuotantoa ja sen laajentamista edelleen sitä mukaa kuin markkinoilla vapautuu tilaa. Mikäli tuotantosidonnainen maataloustuki edelleen vähenee ja maataloustuotteiden markkinahinnat alenevat, tuotanto keskittyyne jatkossa entistä suuremmille tiloille. EU:n komissio on vaatinut maatilojen investointitukien maksamista Etelä-Suomessa täysimääräisinä eli käytännössä yli 50 %:n tukitasolla investointihankkeille, joiden kokonaiskustannus on enintään 840 000 €/tila. Jos hakijana on vähintään kolmen viljelijän muodostama yhtymä, kokonaiskustannuksen yläraja voi olla kaksinkertainen. Näin ollen investointituet mahdollistavat olennaisesti nykyistä keskittyneemmän tuotannon.

Pellot on kaikkialla Suomessa pidetty viljelyksessä, pääosin viljantuotannossa, ja vilja-ala on kasvanut 20 % vuosien 1995 ja 2004 välillä. Jatkossa EU:n maksaman CAP-tuen irrottaminen tuotannosta johtanee vilja-alan pienenemiseen ja kesantoalan kasvuun erityisesti alueilla, joilla tuotannon kannattavuus on heikko. Arvion mukaan vilja-ala kutistuu 20–25 % seuraavan 10–15 vuoden aikana. Viljapinta-alan pieneneminen johtuu maataloustukien muutoksista ja rehuviljan hinnan 5–6 %:n laskusta vientitukien pienentyessä (Kerkelä ym. 2005). Viljan viljelyn laajuuteen Suomessa vaikuttaa tulevaisuudessa merkittävästi se, kuinka paljon viljan viljely ja kotieläintuotanto lisääntyvät EU:n uusissa jäsenmaissa ja kuinka paljon vientitukien loppuminen sekä vuoden 2010 jälkeen todennäköinen tuontisuojan (tariffien) alentaminen las-

kisivat viljan hintaa EU:n sisämarkkinoilla. Siitä huolimatta, että viljan hinta ei laskisi, vilja-alan oletetaan pienenevän noin vuosikymmenen kuluessa 15–20 % nykyisestä (Lehtonen 2004).

Viljantuotannon vähetessä kesantoala tulee kasvamaan. Uusista kesannoista pääosa lienee viherkesantoa CAP-tukiehtojen ja vähäisen työvaatimuksen vuoksi. Myös energiakasvien tuotantoon käytetty ala saattaa lisääntyä viljantuotannon vähentyessä. Eniten kesannointi lisääntyy sisämaassa ja pohjoisessa Suomessa, samalla kun näiden alueiden kotieläintuotanto vähenee ja siirtyy osin Pohjanmaalle ja Varsinais-Suomeen. Kesannoin lisääntyminen ei tule oleellisesti vähentämään rannikkovesiin joutuvaa kuormaa Pohjanlahden rannikolla, koska siellä kotieläintalous vahvistuu monin paikoin edelleen, ja kesantoalan kasvu jää vähäiseksi.

Sokerintuotannon väheneminen korvautunee pääosin viljantuotannolla, ja näin sikatalousvaltaisilla alueilla sokerijuurikasalaa vapautunee lannanlevitykseen. Mikäli yhteiskunta kannustaa peltobioenergian tuottamiseen, sitä on pitemmän päälle edullisinta tuottaa tehokkaasti suhteellisen suurilla yhtenäisillä ja hyvätuottoisilla peltoaloilla joita on tyypillisesti Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla. Esimerkiksi ruokohelven viljely näyttäisi onnistuvan parhaiten hyvillä multavilla viljelysmailla. Viljelyvaihtoehtojen puute voi kuitenkin aiheuttaa peltobioenergia-alan kasvua myös Itä- ja Pohjois-Suomessa, missä vilja-ala on kasvanut lypsy- ja nautakarjataloudesta luopumisen seurauksena.

Tarvittaisiin hyvin merkittävä maatalouspolitiikan uudistus ja hintojen aleneminen, jotta tuotannon intensiteetti vähenisi ja kotieläintuotannon keskittyminen hidastuisi (Miettinen ym. 2004). Keskittämiskehityksen jarruttamista voitaisiin myös pitää maatalouden ja ruokasektorin kilpailukykyhaittana, sillä muihin Länsi-Euroopan maihin verrattuna Suomessa on hyödynnetty vasta osaa tuotannon keskittämisen taloudellisista hyödyistä. Toisaalta tuotannon keskittyminen voi lisätä esimerkiksi eläintauteihin liittyviä riskejä. Jos riskien kasvu aiheuttaa tappioita tai alentaa tuotannon voittoja, keskittyneen tuotannon kilpailukyky ei ehkä olisi niin hyvä kuin on oletettu. Tuotannon keskittyminen lisää myös tarvetta kohdentaa ympäristönsuojelutoimia alueellisesti ja antaa aiheutta riskien hallintaa parantaviin toimenpiteisiin tilatasolla.

6 Johtopäätökset

Maatalous vaikuttaa, sisävesistöjen lisäksi, ennen kaikkea Itämeren rannikon läheisten vesien tilaan. Maatalouden kuormituksen määrä ei ole oleellisesti muuttunut viimeisten 15 vuoden aikana. Kuormitukseen vaikuttavat voimakkaasti sateiden määrä ja jakautuminen vuoden kierrossa, minkä vuoksi mereen joutuvassa ravinnekuormituksessa on suuria vuodeaikaisia ja vuosien välisiä eroja. Tämä vaikeuttaa pysyvien kuormitusmuutosten arviointia lyhyillä, muutaman vuoden pituisilla aikajaksoilla. Lisäksi maaperä pidättää ja vapaut-

taa ravinteita, ja viiveet lannoituskäytäntöjen muutosten ja kuormituksen muutosten välillä voivat olla huomattavan pitkiä. Maatalouden tuotantorakenteen muutoksista, esim. kotieläintuotannon alueellisesta keskittymisestä, seuraa alueellisesti epätasapainoisia ravinnetaseita. Ravinnetaseiden kasvu joillakin alueilla muodostaa hitaasti kuormitusta lisäävän taustatekijän.

Maataloudesta peräisin oleva ravinnekuorma Itämereen ja sisävesiin tulee kuitenkin hitaasti pienentymään esimerkiksi Uudellamaalla, jossa valtaosa peltoalasta on kasvintuotantotilojen käytössä. Tämä johtuu lannoituksen vähenemisestä. Toisaalta ravinnekuormituksen kehitys on hyvin epävarmaa alueilla, joille on syntynyt tai syntymässä vahvoja kotieläintalouden keskittymiä: Varsinais-Suomessa, Satakunnassa ja Pohjanmaalla. Näillä alueilla kuormitus kasvaa, kun ostorehujen mukana tulleet ravinteet joudutaan levittämään liian pienelle peltoalalle. Lantaa tulee jatkossa levittää entistä suuremmalle pinta-alalle ja tiloille ostettavien fosforilannoitteiden käyttöä tulee kotieläintiloilla vähentää tai lopettaa se kokonaan. Kotieläintalouden keskittymiskehityksen aiheuttamat ongelmat on tiedostettava nykyistä paremmin ja otettava ne huomioon päätöksenteossa.

Maatalouspolitiikan muutokset yksinään eivät riitä kääntämään tuotannon alueellisen keskittymisen trendiä. Maatalouspolitiikasta kuitenkin riippuu tuottajien motivaatio pellon kasvukunnon ylläpitämiseen ja parantamiseen. Esimerkiksi pellon vesitalous ja oikea happamuus ovat avainasemassa vähennettäessä maatalouden vesistökuormitusta. Pellon lyhyet vuokra-ajat eivät nykyisellään kannusta pellon kasvukunnon parantamiseen.

Koska ympäristöpoliittisten toimien resurssit ja vaikutusmahdollisuudet ovat rajalliset, voimavaroja tulee kohdentaa alueellisesti riskialttiisiin kohteisiin. Samalla tulee maatalouspolitiikan ja lainsäädännön keinoin huolehtia siitä, että viljelijöiden motivaatio hyvään kuormitusta vähentävään viljelytapaan paranee. Ellei maatalouden yleinen toimintaympäristö, ml. maatalouspolitiikka, kannusta hyvään viljelytapaan ja vesistökuormituksen vähentämiseen, maatalouden ympäristötoimilla voidaan vain osittain lieventää syntyviä haittoja. Uhkien torjumisen lisäksi tulisi hyödyntää muuttuneen maatalouspolitiikan tarjoamia mahdollisuuksia maatalouden vesistökuormituksen vähentämiseen. Esimerkiksi viherkesantoalan kasvu voi vähentää eroosiota ja vesistökuormitusta, jos kuormitus muulta viljelyalalta ja kasvavilta kotieläintiloilta ei samalla kasva.

Jos kuormitusta halutaan nopeasti leikata, tulisi maatalouden vesiensuojelutoimet kohdentaa entistä paremmin kaikkein kuormittavimmille peltolohkoille. Tällaisia ovat mm. kaltevat pellot, ja pellot joiden fosforiluku on korkea. Pelloilla tehtäviä toimenpiteitä tulisi paikoin täydentää valumavesien puhdistuskäsittelyllä.

Kirjallisuus

- Alasaarela, E. 1980. Phytoplankton and environmental conditions in the northern part of the Bothnian Bay. *Acta Universitatis Ouluensis, Sarja A*, nro 90, 23 s.
- Bartnicki, J., Gusev, A., Pavlova, N., Ilyin, I. & Lükeville, A. 2000. Atmospheric supply of nitrogen, lead, cadmium, mercury, and lindane to the Baltic Sea. EMEP/MSC-W, Meteorological Synthesizing Centre-West. Norwegian Meteorological Institute, Research Report no. 97, 88 p.
- Bilaletdin, Ä., Frisk, T., Vehviläinen, B., Kallio, K., Huttunen, M., & Kaipainen, H. 1996. Modelling the effects of climate change on nutrient transport from large drainage basin. Teoksessa: Roos, J. (toim.). The Finnish research programme on climate change. Publications of Academy of Finland 4/96: 173–178.
- Ekholm, P. & Kallio, K. 1996. Observed nutrient fluxes from an agricultural catchment: normal vs mild winters. Teoksessa: Roos, J. (toim.) The Finnish research programme on climate change. Publications of Academy of Finland 4/96: 136–140.
- Ekholm, P. & Krogerus, K. 1998. Bioavailability of phosphorus in purified municipal wastewaters. *Water Research* 32: 343–351.
- Granlund, K., Räike, A., Ekholm, P., & Rekolainen, S. 2005. Assessment of water protection targets for agricultural nutrient loading in Finland. *Journal of Hydrology* 304: 251–260.
- Grimvall, A., Stålnacke P., & Tonderski A. 2000. Time scales of nutrient losses from and to sea – a European perspective. *Ecological Engineering* 14: 363–371.
- Heikkilä, A.-M., Riepponen, L. & Heshmati, A. 2004. Investments in new technology to improve productivity of dairy farms. 91. EAAE Seminar “Methodological and empirical issues of productivity and efficiency measurement in the agri-food system”, Rethymno, Greece, September 24.–26. 2004.
- Heiskanen, A.-S. 1998. Factors governing sedimentation and pelagic nutrient cycles in the northern Baltic Sea. *Monographs of the Boreal Environment Research* 8, 80 s.
- HELCOM 2004. The fourth Baltic Sea pollution load compilation (PLC-4). *Baltic Sea Environment Proceedings* 93.
- Issakainen, P. 2003. P-lannoitusstrategiakoe ohrella. Teoksessa Issakainen, P. (toim.): Lannoitus- ja kasvinsuojelukokeiden tuloksia 2003. MTT/Alueellinen tutkimus, tutkimusraportti. ISBN 951-842-265-6.

- Kallio, K., Rekolainen, S., Ekholm, P., Granlund, K., Laine, Y., Johnsson, H. & Hoffman, M. 1997. Impacts of climatic change on agricultural nutrient losses in Finland. *Boreal Environment Research* 2: 33–52.
- Kauppila, P. & Bäck, S. 2001. The state of Finnish coastal waters in the 1990s. *The Finnish Environment* 472, 134 s.
- Kauppila, P & Lepistö, L. 2001. Changes in phytoplankton. Teoksessa: Kauppila, P. & Bäck, S. 2001. The state of Finnish coastal waters in the 1990s. *The Finnish Environment* 472: 61–70.
- Kemppainen, E. 1989. Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. *Annales Agriculturae Fenniae* 28: 163–284.
- Kerkelä, L., Lehtonen, H. & Niemi, J. 2005. The impacts of WTO export subsidy abolition on the agri-food industry in the EU: A preliminary assessment. *VATT Discussion Papers* 375, 37 s. <http://www.vatt.fi>.
- Kiirikki, M, Rantanen, P., Varjopuro, R., Leppänen, A., Hiltunen, M., Pitkänen, H., Ekholm, P., Moukhametshina, E., Inkala, A., Kuosa, H. & Sarkkula, J. 2003. Cost effective water protection in the Gulf of Finland – Focus on St. Petersburg. *The Finnish Environment*, 632. 55 s.
- Kirkkala, T. 1998. Miten voit Saaristomeri? Ympäristön tila Lounais-Suomessa 1. Lounais-Suomen ympäristökeskus, 70 s.
- Kononen, K. 1992. Dynamics of the toxic cyanobacterial blooms in the Baltic Sea. *Finnish Marine research* 261, 36 s.
- Koskiahho, J. & Puustinen, M. 2003. Function and potential of constructed wetlands for the control of N and P transport from agriculture and peat production in boreal climate. *Journal of Environmentat Health* 40: 1265–1279.
- Koskiahho, J., Ekholm, P., Rätty, M., Riihimäki, J. & Puustinen, M. 2003. Retaining agricultural nutrients in constructed wetlands – experiences under boreal conditions. *Ecological Engineering* 20: 89–103.
- Larsson, U., Elmgren, R. & Wulff, F. 1985. Eutrophication of the Baltic Sea – causes and consequences. *Ambio* 14: 9–14.
- Lehtonen, H. (toim.). 2004. CAP-uudistus Suomen maataloudessa. *MTT:n selvityksiä* 62: 66–85. <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts62.pdf>
- Lehtonen, H. & Pyykkönen, P. 2005. Maatalouden rakennekehitysnäkymät vuoteen 2013. *MTT:n selvityksiä* 100. <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts100.pdf>.

- Lehtoranta, J. 2003. Dynamics of sediment phosphorus in the brackish Gulf of Finland. Monographs of the Boreal Environment Research No. 24
- Leivonen, J. (toim.) 2005. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Toteutumisen arviointi vuoteen 2003 asti. Suomen ympäristö 811. Ympäristönsuojelu. Helsinki 2005. Suomen ympäristökeskus, 83 s.
- Lemola, R. & Turtola, E. 2006. Typen huuhtoutuminen laitumelta eri maala-jeilla. Teoksessa: Virkajärvi, P. & Uusi-Kämpä, J. (toim.). Laitumen ja suojavyöhykkeiden ravinnekierto ja ympäristökuormitus. Maa- ja elintarviketalous 76: 55–74.
- Liikanen, A., Puustinen, M., Koskiaho, J., Väisänen, T., Martikainen, P. & Hartikainen, H. 2004. Phosphorus removal in a wetland constructed on former arable land. *Journal of Environmental Quality* 33: 1124–1132.
- Miettinen, A., Lehtonen, H. & Hietala-Koivu, R. 2004. On diversity effects of alternative agricultural policy reforms in Finland: an agricultural sector modelling approach. *Agricultural and food science* 13: 229–246.
- MMM. 2004. Horisontaalisen maaseudun kehittämisohjelman väliarviointi. Manner-Suomi. MMM:n julkaisuja 1/2004. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki. 273 s.
- MMM TiKe. 2005. Maatilatilastollinen vuosikirja 2004. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, Helsinki.
- Niemi, Å. 1979. Blue-green algal blooms and N:P-ratio in the Baltic Sea. *Acta Botanica Fennica*, 110: 57–61.
- Pietola, L., Tanni, R. & Elonen, P. 1999. Responses of yield and N use of spring sown crops to N fertilization, with special reference to the use of plant growth regulators. *Agricultural and Food Science in Finland* 8: 423–440.
- Pitkänen, H. 2004. (toim.) Rannikko- ja avomerialueiden tila vuosituhaten vaihteessa. Suomen Itämeriohjelman taustaselvitykset. Suomen ympäristö 669, 104 s.
- Pitkänen H., Lehtoranta, J. & Räike, A. 2001. Internal nutrient fluxes counteract decreases in external load: The case of the estuarial Gulf of Finland. *Ambio* 30: 195–201.
- Pitkänen, H. & Tamminen T. 1995. Nitrogen and phosphorus as production limiting factors in the estuarine waters of the eastern Gulf of Finland. *Marine Ecology Progress Series* 129: 283–294.
- Pitkänen, H. Kauppila, P. & Kiirikki, M. 2004. Rannikko ja avomerialueiden tila. Teoksessa: Pitkänen, H. 2004. (Toim.) Rannikko- ja avomerialueiden

- tila vuosituhatosen vaihteessa. Suomen Itämeriohjelman taustaselvitykset. Suomen ympäristö 669: 10–13.
- Puustinen, M., Tattari, S., Koskiaho, J., Linjama, J. 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas. *Soil and Tillage Research* 93: 44–55.
- Pyykkönen, S., Grönroos, S., Rankinen, K., Laitinen, P., Karhu, E., Granlund, K. 2004. Ympäristötuen mukaiset viljelytoimenpiteet ja niiden vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 2000–2002. Suomen ympäristö 711. Ympäristönsuojelu. Helsinki, Suomen ympäristökeskus.
- Roos, J. 1996 (toim.). The Finnish research programme on climate change. Final report. Publications of the Academy of Finland 4/96.
- Räike, A., Pietiläinen, O.-P., Rekolainen, S., Kauppila, P., Pitkänen, H., Nieminen, 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.
- Salo, T., Eskiäinen, J., Jauhiainen, L. & Kartio, M. 2004a. Sadon laadun seuranta. Teoksessa: Turtola, E. & Lemola, R. (toim.). Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2. Osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000-2003. *Maa- ja elintarviketalous* 59: 158–169.
- Salo, T., Lemola, R., Rankinen, K., Granlund, K. & Esala, M. 2004b. Typpitaseen seuranta valtakunnallisesti ja alueellisesti. Teoksessa: Turtola, E. & Lemola, R. (toim.). Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2. Osahankkeiden 2–7 väliraportit 2000–2003. *Maa- ja elintarviketalous* 59: 65–83.
- Salo, T. & Turtola, E. 2006. Nitrogen balance as an indicator of nitrogen leaching in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 98–107.
- Suomela, J. 2001. Saaristomeren tila vuosituhatosen vaihteessa. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 20/2001, 99 s.
- Tamminen, T & Andersen, T. 2007. Seasonal phytoplankton nutrient limitation patterns as revealed by bioassays over Baltic Sea gradients of salinity and eutrophication. *Marine Ecology Progress Series (painossa)*.
- Turtola, E. 1993. Phosphorus and nitrogen leaching during set-aside. Teoksessa: Elonen, P. & Pitkänen, J. (toim.). Proceedings of NJF-seminar no. 228 Soil Tillage and Environment. Jokioinen, Finland, 8-10 June 1993. NJF-utredning/rapport nr. 88: 207–217.
- Turtola, E. & Kemppainen, E. 1998. Nitrogen and phosphorus losses in surface runoff and drainage water after application of slurry and mineral fertil-

- izer to perennial grass ley. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 569–581.
- Uusi-Kämppe, J. & Palojarvi, A. 2006. Suojakaistojen tehokkuus kevätiljamaalla ja laitumella. *Maa- ja elintarviketalous* 76: 101–137.
- Uusi-Kämppe, J., Braskerud, B., Jansson, H., Syversen, N. & Uusitalo, R. 2000. Buffer zones and constructed wetlands as filters for agricultural phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 29: 151–158.
- Uusitalo, R. & Ekholm, P. 2003. Phosphorus in runoff assessed by anion exchange resin extraction and an algal assay. *Journal of Environmental Quality* 32: 633–641.
- Uusitalo, R. & Ekholm, P. 2004. Käyttökelpoisen fosforin arviointi pintamaasta ja valumavedestä. Teoksessa: Turtola E & Lemola, R. (toim.). Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2: Osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000–2003. *Maa- ja elintarviketalous* 59: 7–32.
- 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: 343–354.
- Uusitalo, R. & Turtola, E. 2003. Determination of redox-sensitive phosphorus in field runoff without sediment preconcentration. *Journal of Environmental Quality* 32: 70–77.
- Vagstad, N., Stålnacke, P., Estrup Andersen, H., Deelstra, J., Gustafsson, A., Ital, 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: 213–248.

Maa- ja elintarviketalous -sarjan ympäristöteemassa ilmentyneitä julkaisuja

2007

- 96 Maatalous Itämeren rehevöittäjänä. *Uusitalo, R.* ym. 34 s. Hinta 15 euroa.

2006

- 90 Broilerin fileesuikaleiden tuotannon ympäristövaikutukset ja kehittämismahdollisuudet. *Katajajuuri, J-M.* ym. 118 s. Hinta 25 euroa.
- 81 Jätekompostit lannoitteena peltoviljelyssä – biologiset ja kemialliset vaikutukset. *Halinen, A.* ym. 105 s. Hinta 25 euroa.
- 76 Laitumien ja suojavyyhykkeiden ravinnekierto ja ympäristökuormitus. *Virkajärvi, P. & Uusi-Kämppä, J. (toim.).* 208 s. Hinta 25 euroa.

2005

- 66 Lyijy ja kadmium rohdos- ja yrttikasveissa. Kirjallisuuskatsaus. *Roitto, M. & Galambosi, B.* 103 s. Hinta 25 euroa.
- 65 Recept ur marknadsförarens kokbok: ingredienser och tillredningsanvisningar för en inbjudande lägerskola. Miljölägerskola Eco Learn. *Miemois, A.* 53 s. (webbpublikation: www.mtt.fi/met/pdf/met65.pdf)

2004

- 63 Maan laadun arviointi tiloilla – kirjallisuuskatsaus. *Kukkonen, S.* ym. 86 s. Hinta 20 euroa
- 59 Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2. Osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000-2003. *Turtola, E. & Lemola, R. (toim.).* 175 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.

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

