



YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU

Markku Puustinen

# Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen





Markku Puustinen

Viljelymenetelmien  
vaikutus pintaeroosioon  
ja ravinteiden  
huuhtoutumiseen

HELSINKI 1999



ISBN 952-11-0430-9  
ISSN 1238-7312

Valokuvat: Markku Puustinen  
Maatalousmaisema  
Ojaerosio  
Pintavalunnan keräin  
Paino:  
Oy Edita Ab, Helsinki 1999

# Sisällys

<b>1 Johdanto</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Eroosio ja ravinteiden huuhtoutuminen peltomailta</b> .....	<b>7</b>
2.1 Eroosioon ja huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät .....	7
2.1.1 Sade ja sateen rankkuus .....	8
2.1.2 Valunta ja sen pitoisuudet .....	9
2.1.3 Haihdunta .....	12
2.1.4 Maan rakenne ja infiltraatio .....	12
2.1.5 Pellon topografia .....	13
2.1.6 Viljelytekniikka ja kasvipeitteisyys .....	14
2.2 Eroosioprosessit ja ravinteiden esiintymismuodot peltomailla .....	16
2.2.1 Eroosiolajit .....	16
2.2.2 Kiintoaineen irtoaminen ja kulkeutuminen .....	17
2.2.3 Muokkauskerroksen ravinteet .....	18
2.3 Eroosion ja ravinnehuuhtoutumien määrä .....	20
2.3.1 Eroosion määrä .....	21
2.3.2 Fosforin huuhtoutuminen .....	22
2.3.3 Typen huuhtoutuminen .....	23
2.4 Maatalouden hajakuormituksen tutkimus .....	24
2.4.1 Kuormituksen tutkimusmenetelmät ja mittaaminen .....	24
2.4.2 Kuormituksen tutkimustarpeet ja -tavoitteet .....	25
<b>3 Aineisto ja menetelmät</b> .....	<b>27</b>
3.1 Kokeellisen osan rajaukset ja tavoitteet .....	27
3.2 Koekentän perustaminen ja aineiston keruu .....	27
3.2.1 Pintavaluntakeräinten suunnittelu .....	27
3.2.2 Koekentän suunnittelu ja toteutus .....	30
3.2.3 Koekentän maalaji ja maan ravinnepitoisuus .....	31
3.2.4 Kenttäkokeet .....	31
3.3 Valunnan seuranta ja mittausjärjestelyt .....	33
3.3.1 Vesinäytteiden kokoaminen .....	33
3.3.2 Vesianalyysit .....	33
3.3.3 Muut mittaukset .....	33
3.4 Aineiston käsittely .....	33
<b>4 Perusjakson kalibrointimallit</b> .....	<b>36</b>
4.1 Muokkauskerroksen valunta .....	37
4.2 Valunnan kiintoainepitoisuus .....	40
4.3 Valunnan fosforipitoisuus .....	41
4.4 Valunnan typpipitoisuus .....	44
<b>5 Viljelykäsittelyjen vaikutukset koejaksoilla</b> .....	<b>46</b>
5.1 Muokkauskerroksen valunta .....	46
5.1.1 Valunta eri käsittelyissä .....	47
5.1.2 Valunnan poikkeamat .....	49
5.1.3 Valunta ja hydrologiset olosuhteet .....	51
5.2 Valunnan kiintoainepitoisuus .....	52
5.2.1 Kiintoainepitoisuus eri käsittelyissä .....	53
5.2.2 Kiintoainepitoisuuden poikkeamat .....	55

5.3 Valunnan fosforipitoisuus .....	57
5.3.1 Fosforipitoisuus eri käsittelyissä .....	58
5.3.2 Fosforipitoisuuden poikkeamat .....	61
5.4 Valunnan typpipitoisuus .....	64
5.4.1 Typpipitoisuus eri käsittelyissä .....	64
5.4.2 Typpipitoisuuden poikkeamat .....	68
<b>6 Viljelykäytäntö ja hajakuormituksen vähentäminen .....</b>	<b>71</b>
6.1 Hajakuormitus peltoviljelyssä .....	71
6.1.1 Kuormituksen vuosivaihtelu .....	71
6.1.2 Kuormitus eri viljelymenetelmissä .....	73
6.1.3 Pintaerosion ja ravinnekuormituksen välinen riippuvuus .....	76
6.2 Hajakuormituksen vähentäminen .....	79
6.2.1 Perinteinen perusmuokkaus .....	79
6.2.2 Kevennetty muokkaus ja kasvipeitteisyys .....	79
6.2.3 Suojakaista .....	80
<b>7 Tulosten tarkastelu .....</b>	<b>82</b>
Valunta ja valuntasuhteet .....	82
Erosio .....	83
Fosfori .....	84
Typpi .....	84
Peltojen ominaisuudet .....	85
<b>8 Johtopäätökset .....</b>	<b>86</b>
<b>9 Tiivistelmä .....</b>	<b>89</b>
<b>10 Päätösmaininnat .....</b>	<b>91</b>
<b>Kirjallisuus .....</b>	<b>92</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>97</b>
Liite 1. Huuhtoutumiskoe kentät Suomessa .....	97
Liite 2. Perusjakson kalibrointimallit .....	99
Liite 3. Muokkauskerroksen valunta .....	101
Liite 4. Muokkauskerroksen suhteellinen valunta .....	102
Liite 5. Muokkauskerroksen valunnan kiintoainepitoisuus .....	103
Liite 6. Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen kiintoainepitoisuus .....	104
Liite 7. Muokkauskerroksen valunnan fosforipitoisuus .....	105
Liite 8. Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen partikkelifosfori- pitoisuus .....	106
Liite 9. Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen DRP-pitoisuus .....	107
Liite 10. Muokkauskerroksen valunnan typpipitoisuus .....	108
Liite 11. Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen kokonaistyp- pitoisuus .....	109
Liite 12. Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen nitraatti- nitriittityppipitoisuus .....	110
<b>Kuvailulehdet .....</b>	<b>111</b>

## Johdanto

---

Hajakuormitus kulkeutuu pelloilta vesistöihin veden kuljettamana pääosin kuivatusjärjestelmien kautta. Kuormitus voidaan huuhtoutumistapansa mukaan jakaa pintavalunnassa ja salaojavalunnassa tulevaan kuormitukseen. Jos hydrologisessa kierrossa tapahtuu muutoksia, on sillä välittömiä vaikutuksia vallitsevaan kuormitukseen. Voimakkaimmin pellon hydrologiaa muuttava tekijä maataloudessa on maankuivatus. Ilmaston mahdollinen lämpeneminen leutojen talvien vuoksi saattaa vaikuttaa valunnan jakaumiin. Paikallisia kuormituseroja aiheutuu peltojen maalajeista, kasvillisuudesta ja kaltevuussuhteista.

Potentiaalisesti viljelyn vaikutukset ulottuvat vesistöihin saakka 88,2 %:lla peltoalasta. Aktiivitilojen kokonaispeltoalasta (Maatalouslaskenta 1990) tämä on yhteensä 1,97 milj. ha. Arvio perustuu KUTI-tutkimukseen (Puustinen ym. 1994), jonka mukaan kuivatusvedet johdetaan 68,3 %:lla peltoalasta valtaojaan, 13,1 %:lla suoraan vesistöön, 5,5 %:lla putkiojaan ja 13,1 %:lla maastoon. Kymmenesosa jälkimmäiseen ryhmään kuuluvasta peltoalasta sijaitsee vesistöjen läheisyydessä, jolloin kuivatusvedet suotautuvat joko maaperän kautta tai pintavaluntana vesistöön. Runsaalla 10 %:lla peltoalasta ei tällä tavalla arvioituna ole suoria vesistövaikutuksia.

Suurimmillaan kuormitusriski on vesistöihin rajoittuvilla pelloilla sekä vesistöjen läheisyydessä valtaojiin rajoittuvilla pelloilla. Välittömästi vesistöön rajoituvaa tai alle 100 m:n etäisyydellä vesistöä sijaitsevaa peltoa KUTI-tutkimuksen mukaan on 14,4 % viljellystä peltoalasta eli 320 000 ha. Tästä peltoalasta kolmanneksella eli noin 110 000 ha:lla pellon ja vesistön välinen korkeusero on alle 1 m. Enintään 500 m:n etäisyydellä lähimmästä vesistöä sijaitsee 35 % peltoalasta eli yhteensä 780 000 ha.

Pellon pinnan kaltevuus on eroosiossa merkittävä tekijä, mikä korostuu vesistöjen läheisyydessä. Pääosa peltoalasta on kuitenkin Suomessa kaltevuudeltaan varsin tasaiseksi luokiteltavaa. KUTI-tutkimuksen mukaan kaltevuutta on enintään 1 % (so. 1 m:n korkeusero 100 m:n matkalla) 57,1 %:lla peltoalasta. Erittäin kaltevia, (> 7 %) peltoja on 3,4 % peltoalasta eli 76 000 ha. Herkästi erodoituvia silttimaita yli 3 %:n kaltevuudella on yhteensä noin 155 000 peltohehtaaria. Vesistöön rajoittuvasta pellostä 240 000 ha:lla pinnan kaltevuus on vesistöön päin jyrkenevä tai tasaisen kalteva. Kiintoainekuorman kannalta tämä on mahdollisimman epäedullinen kombinaatio.

Viljanviljelyn, erikoisviljelyn ja syyskylvöjen yleistymisen on kasvattanut eroosiota ja vesistöjen kuormittumista (Rekolainen ym. 1992). Kun lannoitteena käytetty fosfori sitoutuu voimakkaasti maa-ainekseen, fosforin vesistökuormitus on sidoksissa eroosioon. Eroosion ja fosforin ympäristöriskit korostuvat kaltevilla pelloilla valuntasuhteiden muuttuessa. Pellon tiivistymisellä on samansuuntaisia vaikutuksia. Vesistöihin rajoittuvilla rinnepelloilla pintavalunnan aiheuttama ympäristöhaitta on suurimmillaan.

Vesistöjä kuormittavista ravinteista typpi käyttäytyy maaperässä fosforista poikkeavalla tavalla. Typpi on pääosin muokkauskerroksessa nitraattina ja huuhtoutuu helposti vesistöihin riippumatta veden kulkureitistä.

Kauppi (1984) esitti pienten valuma-alueiden havaintojen perusteella keskimääräiseksi fosforikuormitukseksi 0,57 kg hehtaarilla ja typpikuormitukseksi 12 kg hehtaarilla. Rekolainen (1989, 1993) havaitsi myöhemmin fosforikuormitukseksi 0,9-1,8 kg hehtaarilla ja typpikuormitukseksi 8-20 kg hehtaarilla vuodessa. Näihin tutkimuksiin pohjautuen peltoviljelyn aiheuttaman fosforikuormituksen todettiin kasvavan vielä 1980-luvun lopulla. Sama suuntaus näytti vallitsevan myös maatalouden typpikuormituksessa.

Tässä tilanteessa 1980-luvun lopulla oli suuri tarve kenttätutkimukselle, jossa selvitettäisiin mahdollisuuksia vähentää peltoviljelyn aiheuttamaa vesistökuormitusta. Kun samaan aikaan pelloilla tapahtuva eroosio ja sen merkitys vesistökuormituksessa oli vahvasti esillä mm. Mansikkaniemen (1982) tutkimuksiin pohjautuen, mielenkiinto suuntautui peltojen pintaeroosion torjuntaan. Silloiset toimivat huuhtoutumiskoekentät oli perustettu tasaisille maille eivätkä ne siten soveltuneet tähän tarkoitukseen. Näillä perusteilla Vesi- ja ympäristöhallitus perusti 1980-luvun lopulla Aurajoen koekentän kalteviin olosuhteisiin.

Suomen liityttyä EU:iin maataloudessa aloitettiin soveltamaan laajasti ympäristötukijärjestelmää, jossa ns. hyviä viljelymenetelmiä (Korkman ym. 1993) noudattaen pyritään vähentämään hajakuormitusta. Järjestelmän lähtökohta on fosforihuuhtoutumien vähentäminen pintaeroosiota vähentämällä. Viljelykäytännön muuttuessa kenttätutkimus joutuu uusien esiin nousevien avoimien kysymysten eteen. Empiirinen koekenttätutkimus on pitkäjänteistä tutkimusta, se on myös tärkeä osa mallitutkimusta vertailuaineistojen tuottajana.



# Eroosio ja ravinteiden huuhtoutuminen peltomailta

# 2

## 2.1 Eroosioon ja huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät

Eroosio määritellään yleisesti maa-aineksen kulkeutumisena alkuperäiseltä paikaltaan sateen, virtaavan veden, jään, lämpötilavaihtelun tai tuulen vaikutuksesta (Johansson 1975). Maaperän hyötykäyttö on monin paikoin lisännyt eroosio-ongelmia luonnontilaiseen verrattuna. Tuhoisana eroosiota esiintyy mm. kuivilla ja trooppisilla ilmastovyöhykkeillä esim. laiduntamisen jälkiseurauksena tai sademetsien hakkuiden jälkeen. Pohjoisilla alueilla voimakasta eroosiota esiintyy esim. Islannissa jäätikkötulvien yhteydessä. Huuhtoutumisella tarkoitetaan aineiden tai ravinteiden kulkeutumista veden mukana liukoisessa muodossa (Johansson 1975). Huuhtoutumista voi tapahtua maan pinnalla tai maakerroksissa virtaavassa vedessä tai sitä voi tapahtua suoraan pohjaveteen. Maatalouden hajakuormituksella tarkoitetaan yleensä vesistöjä kuormittavaa kiintoaine-, typpi- ja fosforikuormitusta.

Maatalouden vesistökuormitus Suomessa muodostuu osin eroosiosta ja osin ravinnehuuhtoutumista. Kokonaisuudessaan se on monen tekijän summa. Yksittäisen tekijän vaikutuksen arviointi kuormitukseen voi olla vaikeaa. Välittömien vaikutusten lisäksi sillä saattaa olla samanaikaisesti useita välillisiä vaikutusmekanismeja, joiden voimakkuus vaihtelee olosuhteiden mukaan. Maataloustuotannosta voidaan yleisesti todeta, että se aiheuttaa erilaisissa olosuhteissa vaihtelevan suuruisen vaikutuksen ympäristöönsä.

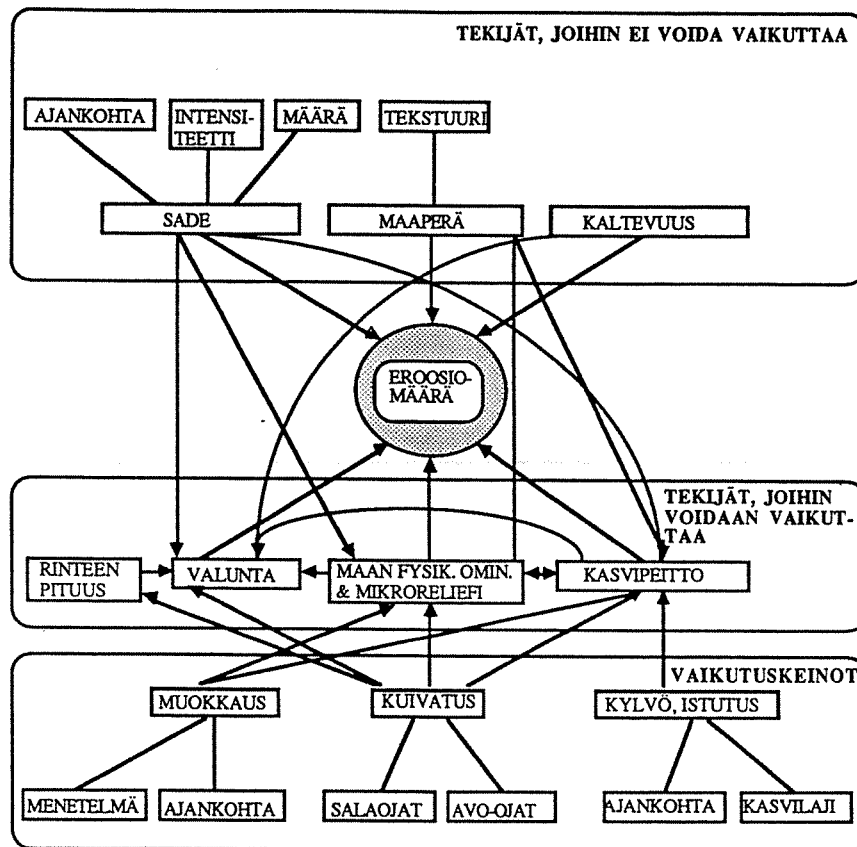
Eroosio ja ravinteiden huuhtoutuminen ovat suurelta osin toisistaan riippumattomia ilmiöitä. Eroosion yhteydessä usein tapahtuu huuhtoutumista, mutta eroosioon liittyy ennen kaikkea partikkelimaisten ravinteiden kulkeutumista. Eroosioon vaikuttavat olosuhteiden lisäksi joukko tekijöitä, joihin voidaan peltoviljelyssä vaikuttaa (kuva 1). Huuhtoutuvien ravinteiden suhteen tilanne on samankaltainen.

Eroosiota on tutkittu erityisen paljon mm. USA:ssa. Tutkimusten pohjalta eroosioilmiöitä on mallinnettu, mikä on taas auttanut eroosioon vaikuttavien tekijöiden ymmärtämistä muuallakin. Wischmeier ja Smith (ref. Novotny ja Chester 1981) ovat esittäneet laajaan empiriseen aineistoon perustuvan eroosiomallin USLEn (the Universal Soil Loss Equation) muodossa:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

missä

- A = eroosio (t ha<sup>-1</sup>)
- R = sade- ja sateen intensiteettikerroin
- K = maan erodoituvuuskerroin
- L = pituuskerroin
- S = kaltevuuskerroin
- C = maankäyttökerroin
- P = eroosiontorjunnan tehokkuuskerroin



Kuva 1. Eroosioon vaikuttavat tekijät ja niiden väliset yhteydet (Tiainen ja Puustinen 1989).

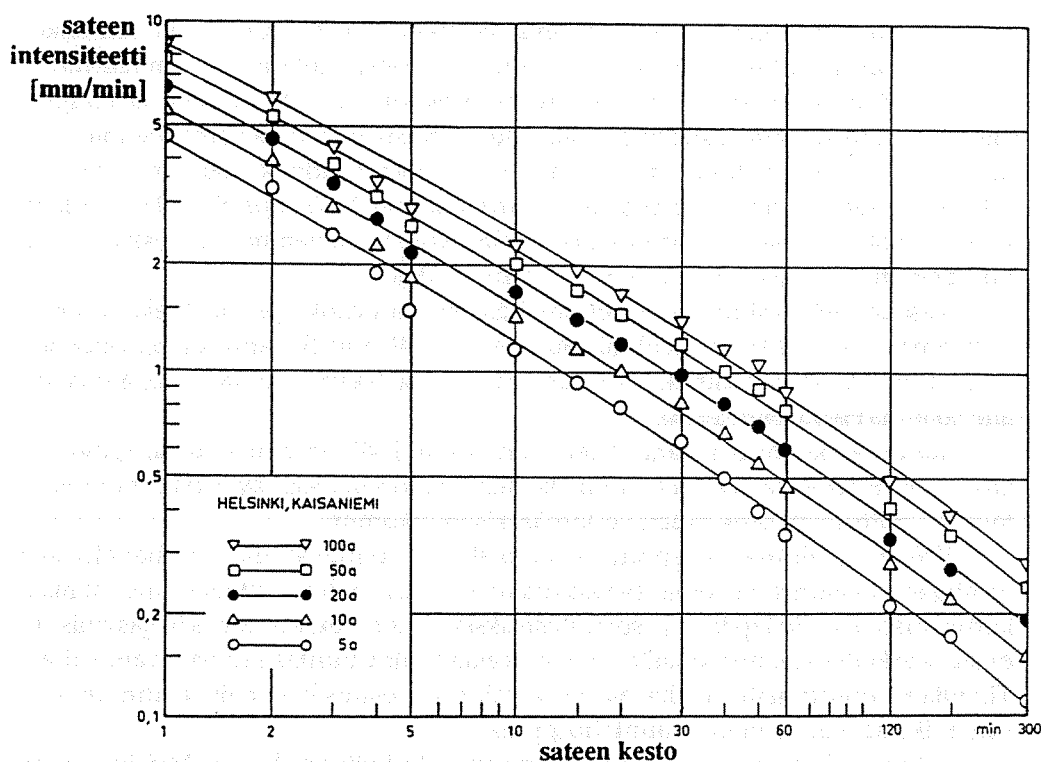
Mallissa parametrit ovat kertoimia ja ne kuvaavat eroosioon vaikuttavia tekijöitä. Mallilla voidaan ennustaa tunnetuissa oloissa tapahtuvaa eroosiota. Seuraavissa luvuissa käsitellään eroosioon sekä hajakuormitukseen vaikuttavia tekijöitä ja niiden ominaisuuksia Suomen olosuhteissa.

### 2.1.1 Sade ja sateen rankkuus

Sade on keskeinen maa-aineksen irrottaja maanpinnalta. Erityisesti sateen intensiteetti ja kesto vaikuttavat tähän summatekijöinä. Kun sateen intensiteetti kasvaa, sateen kesto ja vaikutusalue pienenevät yleensä, mutta pisaroiden koko kasvaa (Linsley ym. 1975, Zachar 1982). USA:ssa kuvataan sateen eroosiota aiheuttavaa voimaa sen kineettisen energian ja 30 minuutin sateen suurimman intensiteetin tulolla (Wischmeier ym. 1958, ref. Schwab ym. 1981). Wischmeierin mukaan sateen energian ja intensiteetin tulo vaihtelee  $100\text{--}10\,000\text{ J m}^{-2}$ .

Helsingissä kerran viidessä vuodessa toistuvan kestoltaan tunnin sateen intensiteetti on  $24\text{ mm h}^{-1}$  (Kuusisto 1980). Kun USA:n keskiosissa vastaavalla toistumisajalla sateen maksimi intensiteetti on  $50\text{ mm h}^{-1}$  (Schwab ym. 1981), ei sateiden kineettisillä energioilla ole suurta eroa (Tiainen 1990). Sateiden ero tulee esille kineettisen energian ja intensiteetin tulosta. Jos sateiden intensiteetit ovat 30 minuutin maksimi-intensiteettejä, sateen eroosiovoimaksi saadaan Helsingissä  $574\text{ J m}^{-2}$  ja USA:ssa  $1\,335\text{ J m}^{-2}$  (Tiainen 1990).

Hudsonin (1971) mukaan eroosiota synnyttävän sateen intensiteetin minimi on  $25\text{ mm h}^{-1}$ . Lauhkealla ilmastovyöhykkeellä 5 % sateista ylittää tämän sademäärän ja trooppisilla alueilla 40 %. Kun keskimääräinen vuosisadanta lauhkealla ilmastovalueella on 750 mm, eroosiota synnyttävää sadetta on keskimäärin 38 mm. Jos vuosisadanta troopikissa on 1 500 mm, eroosiota synnyttävää sadetta on yhteensä 600 mm.



Kuva 2. Lyhytaikaisten sateiden rankkuus Helsingissä eri toistumisajoilla (Kuusisto 1980).

Suomessa vuoden keskisadanta oli 630 mm jaksolla 1931-60 ja 660 mm jaksolla 1961-75 (Solantie ja Ekholm 1985). Etelä- ja Keski-Suomessa vuosisadanta ylitti paikoin 750 mm. Lapissa vuosisadanta vaihteli välillä 550-700 mm. Vuoden vähäsaateisimman kuukauden (maaliskuu) osuus vuosisadannasta on keskimäärin 5 % ja runsassateisimman kuukauden, elokuun, osuus on 13 %. Suomen ilmaston erityispiirre onkin sateiden melko tasainen jakautuminen ajallisesti (Kuusisto 1980, 1986). Huomattava osa vuosisadannasta varastoituu lumeksi, mikä keväällä lyhyellä aikaa sulaessaan aiheuttaa voimakkaan valuntahuipun.

Keskimääräisen vuosisadannan, sadannan jakauman ja sateen intensiteetin perusteella arvioituna eroosio jää Suomen oloissa vaatimattomaksi. Yksittäisten sateiden ajankohdalla, kestolla ja intensiteetillä saattaa kuitenkin olla hetkellisesti merkittävä vaikutus eroosion.

### 2.1.2 Valunta ja sen pitoisuudet

Kiintoaine- ja ravinnekuormitus tulee pelloilta vesistöihin valuntavesissä, jolloin kuormituksen määrä riippuu toisaalta valunnan määrästä ja toisaalta valunnan pitoisuuksista. Kun sadanta ja haihdunta säätelevät ensisijaisesti kokonaisvalunnan määrää (Kuusisto 1986), vaikutusmahdollisuudet siihen jäävät pieniksi. Vesivaraston muutokset vaikuttavat lyhyellä aikavälillä esim. yksittäisten sateiden yhteydessä valuntaan, mikä saattaa merkittävästi hidastaa valunnan muodostumista. Pellolla vettä voi varastoitua väliaikaisesti mm. maaperään ja kasvipeitteeseen.

Vuosivalunta Etelä-Suomen maa-alueilla on 200-300 mm ja Pohjois-Suomessa 300-400 mm, paikoin jopa 500 mm (Solantie ja Ekholm 1985). Siten kiintoainesta ja ravinteita kuljettava vuosittainen vesimäärä hehtaaria kohden on Etelä-Suomessa 2 000-3 000 m<sup>3</sup> ja Pohjois-Suomessa 3 000-4 000 m<sup>3</sup>. Suomessa valunta jakautuu vuodenaikojen mukaan neljään kauteen.

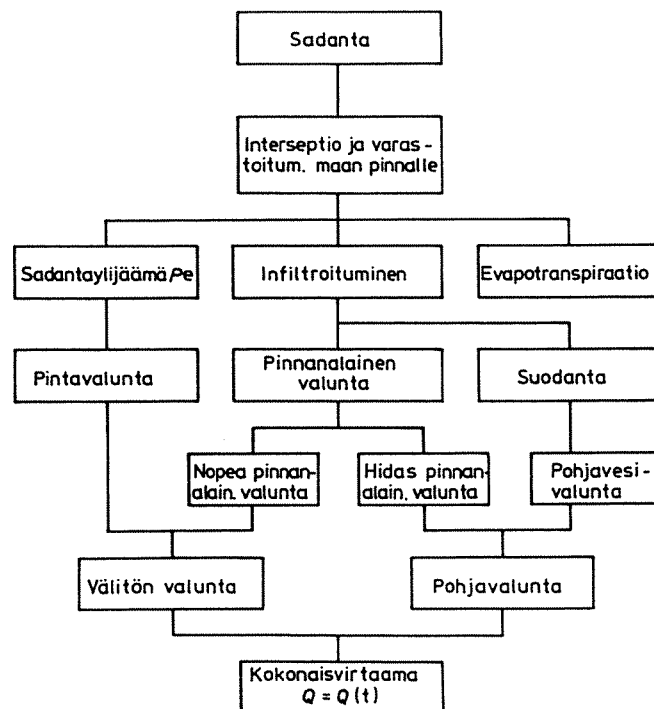
Vesistökuormituksen kannalta kevät ja syksy ovat merkittäviä vuodenaikojia. Kevätvalunta aiheutuu pääosin lumen sulamisesta, jota lisää sulamiskauden sadanta. Maan eteläosissa kevätvalunta on keskimäärin 100-120 mm ja Pohjois-Suomessa 140-180 mm. Kevätvalunnan osuus vuosivalunnasta vaihtelee maan eri osissa 40-60 %. Syysvalunta Etelä-Suomessa on keskimäärin 50-100 mm. Sateisena syksynä se saattaa ylittää 100 mm ja kuivana syksynä jäädä jopa alle 10 mm. Maan keski- ja pohjoisosissa syysvalunta jää Etelä-Suomea pienemmäksi, koska pysyvä lumipeite tulee siellä aikaisemmin (Hyvärinen 1986).

Kesäkaudella valunta ovat runsaan haihdunnan vuoksi pientä, Etelä-Suomesa keskimäärin 10-20 mm ja Pohjois-Suomessa 30-40 mm. Sadannasta riippuen kesävalunnat saattavat kuitenkin vaihdella paljon. Talvella valunta on keskimäärin alle 50 mm (Hyvärinen 1986).

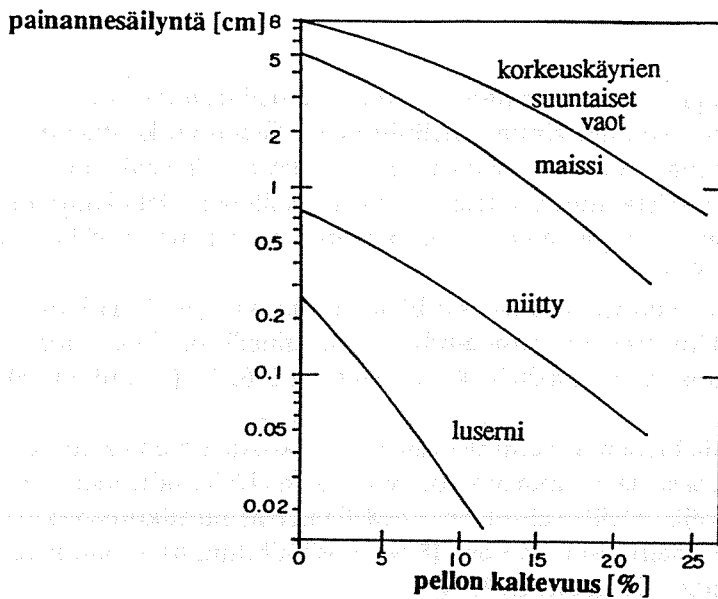
Valunnan kokonaismäärän ohella sen huiput lisäävät kuormitusta, erityisesti eroosiota. Hetkelliset valumahuiput keväällä ja kesällä saattavat olla moninkertaisia verrattuna vuorokauden keskimääriin valumiin.

Kokonaisvalunta jakaantuu maanpäälliseen (pintavalunta), pinnanalaiseen (pintakerrosvalunta) ja pohjavesivaluntaan (kuva 3), joiden suhteet riippuvat maajajista, maaprofiilin läpäisevyysominaisuuksista, kaltevuussuhteista ja kasvillisuudesta. Karkeilla kivennäismailla tai liejusavilla pintavaluntaa esiintyy vain vähän. Tiiviillä tai tiivistyneillä mailla taas pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta kasvaa, mikä kasvattaa myös valuntahuippuja.

Pellon valuntasuhteita voidaan muuttaa tarkoituksellisesti. Muokkauksen yhteydessä pellon pinnalle muodostuu pintavaluntaa hidastavia painanteita ja vesivarastoja. Pellon pinnan varastotilaa voidaan lisätä myös istutuksilla, korjuujäännöksillä tai rinteiden kaltevuuteen nähden poikittaisella muokkaussuunnalla (kuva 4). Pintavaraston suuruuden tarkka määrittäminen on vaikeaa. Arviot tehdään yleensä kalibroimalla hydrologinen malli pellolla tehtyjen mittausten mukaan. Kasvien pintaan pidättyvä vesi (interseptio) pienentää pintavaluntaa hyvin vähän (Rijteman 1965, ref. Vakkilainen 1986).



Kuva 3. Kokonaisvirtaaman muodostuminen valunnan eri osista (Hyvärinen 1986).



Kuva 4. Erilaisten pintojen painannesäilyntä erilaisissa kaltevuuksissa (Hiemstra 1968, ref. Novotny ja Chesters 1981)

Maahan imeytynyt vesi joko virtaa pintakerrosvaluntana pohjavesikerroksen yläpuolella tai valuu pohjaveteen. Pääosa pintakerrosvalunnasta tapahtuu ylimässä maakerroksessa ja muokkauskerroksessa. Pellon pintavalunnan ja muokauskerroksessa tapahtuvan pintakerrosvalunnan erottaminen toisistaan on vaikeaa. Pohjaveden yläpuoliseen maakerrokseen pidättyvän veden määrä riippuu maan raakoostumuksesta, tiiviyydestä ja kosteudesta. Karkeilla maalajeilla veden varastoitumiskapasiteetti on pieni. Aitosavi sisältää kenttäkapasiteetitilanteessa vettä yli 40 % (Andersson 1973). Savimailla huomattava osa valunnasta tapahtuu pintavaluntana ja sademäärästä korkeintaan 10 % valuu pohjavedeksi (Mälkki 1970, ref. Airaksinen 1978).

Keskeinen osa huuhtoutumisprosessia on aineiden konsentroituminen veteen. Wiklander (1974) kuvaa muokkauskerroksessa tapahtuvaa huuhtoutumista yhtälöllä.

$$C_v = C_s + C_r + C_l + C_i \quad (2)$$

missä

$C_v$  = maasta valuvan veden konsentraatio

$C_s$  = sadeveden konsentraatio

$C_r$  = rapautumisesta ja orgaanisen aineksen hajoamisesta peräisin oleva konsentraatio

$C_l$  = lannoituksesta ja kalkituksesta peräisin oleva konsentraatio

$C_i$  = ioninvaihtoreaktiossa vapautuva konsentraatio

Muokkauskerroksessa veden ja maahiukkasten välisten ioninvaihtoreaktioiden seurauksena huuhtoutuvien ravinteiden konsentraatiot maavedessä kasvavat sadeveteen verrattuna moninkertaiseksi. Muokkauskerroksen alapuolelle suotautuvan veden pitoisuudet saattavat taas pienentyä ravinteiden pidättyessä uudelleen maahiukkasten pinnoille (Wiklander 1974).

Keskimääräinen vuosivalunta on pitkällä aikavälillä ollut lähes muuttumaton. Täten maatalouden hajakuormituksen kasvu aiheutuu ennenkaikkea pintavalunnan ja kuivatusvesien ravinnepitoisuuksien kasvusta. Hajakuormitusta vähennettäessä juuri tähän on kyettävä vaikuttamaan merkittävästi.

### 2.1.3 Haihdunta

Lämpötila, tuulisuus, haihduttavien pintojen karkeus ja haihdutettavissa olevan veden määrä vaikuttavat voimakkaimmin haihduntaan. Veden tai kenttäkapasiteetissa olevan paljaan maan pinnasta haihduntaa säätelevät pelkästään ilmasto- ja energiatekijät. Haihtumista lumen ja jään pinnasta rajoittaa matala lämpötila. Tällöin kyllästetyn vesihöyryn paine-ero haihduttavan pinnan ja ilman välillä jää pieneksi (Vakkilainen 1986).

Haihdunnan osuus vuosisadannasta on Etelä-Suomessa n. 60 % ja Pohjois-Suomessa n. 50 %. Keskimääräinen vuosihaihdunta maa-alueilla oli Etelä-Suomessa 400-450 mm ja Pohjois-Suomessa 200-300 mm jaksolla 1961-75 (Solantie ja Ekholm 1985).

Keväällä haihdunta pienentää valuntaa vain vähän, koska lumen sulamisesta johtuva valunta on runsasta ja valuntajakso on lyhyt. Syksyllä haihdunnan väheessä se ei vaikuta runsailla sateilla valuntaan. Keväällä maaliskuussa ja syksyllä loka-marraskuussa haihdunta on noin 15 % vuosihaihdunnasta (Niinivaara 1955, Kaitera ja Teräsvirta 1972, Järvinen 1978).

Haihdunta vähentää valuntaa merkittävästi lähinnä kesällä. Noin 60 % vuosihaihdunnasta tapahtuu kolmen kesäkuukauden aikana (Niinivaara 1955, Kaitera ja Teräsvirta 1972, Järvinen 1978). Tällöin sadannan vajuus (PET-P) voi olla Etelä-Suomessa 130-150 mm (Seuna 1977). Sen seurauksena maahan muodostuu runsaasti varastotilaa vedelle, mikä syksyllä hidastaa valunnan muodostumista.

### 2.1.4 Maan rakenne ja infiltraatio

Maalajin eroosion vastustuskyky riippuu yksittäisten hiukkasten ominaisuuksista. Mitä pienempiä maahiukkaset ovat, sitä suurempi ominaispinta-ala niillä on ja sitä tiukemmin ne sitoutuvat toisiinsa muodostaen kestäviä muruja. Toisaalta partikkelikoon kasvaessa sen massa kasvaa ja samalla sen irtoaminen alkuperäiseltä paikaltaan vaikeutuu. Siten partikkelikooltaan hienoimmat ja karkeimmat maalajit kestävät parhaiten valunnan aiheuttamaa kulutusta (Sundborg 1967, ref. Salo ym. 1985).

Kestävien murujen muodostuminen muokkauskerrokseen pienentää maan eroosioherkkyyttä. Emersonin (1959, ref. Marshall ja Holmes 1981) mukaan ne muodostuvat savipartikkeleista kiinnittymällä toisiinsa elektrostaattisin voimin tai orgaanisen aineksen välityksellä. Orgaaninen aines on Whiten (1979) mukaan tärkein maa-aggregaattien sitomisaine pH-alueella 5,5-7. Myös maan kuivumisen seurauksena syntyy kestäviä ja tiiviitä aggregaatteja, joiden väleihin jää lisäksi vettä johtavia huokosia.

Pellon vesitalouden kannalta maaprofiilin rakenteen pysyvyys on keskeinen ominaisuus. Kun maalla on hyvä veden varastoimiskapasiteetti ja hyvät suotautumisominaisuudet, jää pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta pieneksi. Jos infiltraatio on sateen tai lumen sulannan intensiteettiä suurempi, ei pintavaluntaa tapahdu. Maan rakenteen lisäksi infiltraatioon vaikuttavat mm. maaprofiilin kerrokset, maan routaantuminen, maan kaltevuus ja kasvillisuus.

Hanks ja Bowers (1962, ref. Skaggs ja Khaleel 1982) havaitsivat kaksikerroksisessa profiilissa kokonaisinfiltraation määräytyvän alemman hienompirakeisen kerroksen mukaan kosteusrintaman edetessä siihen. Hienorakeisen kerroksen ollessa ylempänä, tapahtui infiltraatiossa vähäistä hidastumista kosteuden levitessä alempaan karkeaan kerrokseen. Vastaavia havaintoja tekivät myös Whisler ja Klute (1966, ref. Skaggs ja Khaleel 1982).

Vettä läpäisemätön kerros voi muodostua myös maan pintaan. Edwards ja Larsson (1969) havaitsivat, että voimakkaan sateen vaikutuksesta dispersiotuotteet kulkeutuivat pintakerroksen huokosiin ja muodostivat maan pinnalle ohuen vettä läpäisemättömän kerroksen. Maanpinnan hydraulinen johtavuus pieneni n. 90 % ja infiltraatio n. 60 % kahden tunnin sadetuksen jälkeen. Tämä tilanne on yleistä muokatulla ja kasvillisuudesta vapaana olevalla maalla. Esim. avokesannoilla ja kevätiljoilla ennen orastumista pellon pinta liettyy herkästi sateen seurauksena.

Routaantumisen yhteydessä maahan muodostuu jäälinsejä. Ne puristavat maapartikkeleita muruiksi (Marshall ja Holmes 1981). Toisaalta routa kuohkeuttaa maata synnyttäen siihen makrohuokosia. Roudan kuohkeuttava vaikutus riippuu maan kosteuspitoisuudesta jäätymishetkellä. Veden läpäisevyys routaantuneella maalla riippuu jäättömien huokosten määrästä ja koosta. Jos maa jäätyy kenttäkapasiteettia kosteammassa tilassa, infiltraatio jää hyvin pieneksi. Jos maan kosteus jäätymishetkellä on pieni, infiltraatio on lähellä sulan maan infiltraatiota (Gray 1973, ref. Vakkilainen 1986).

Jäätyneellä karkearakeisella maalla veden johtavuus pysyy suhteellisen korkeana ja veden suotautuminen on nopeampaa kuin lumen sulaminen (Karvonen ym. 1986). Seuna ja Kauppi (1981) havaitsivat pintavalunnan osuuden kasvavan roudan syvyyden kasvaessa. Seunan (1981) mukaan roudan syvyys ( $F_d$ ) lisää valuntaa ( $R_s$ ) seuraavan kaavan mukaan  $R_s = -2.01 F_d + 170$  Kylmän veden korkea viskositeetti hidastaa myös sen suotautumista maahan (Airaksinen 1978, FAO 1978). Kokonaisuutena pellon routaantuminen vähentää eroosiota ja hajakuormitusta.

### 2.1.5 Pellon topografia

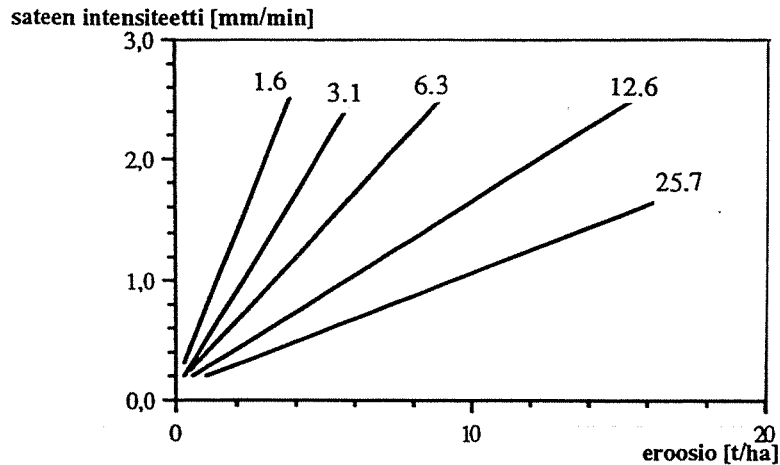
Pellon kaltevuus ja sen pituus vaikuttavat pintavalunnan määrään erityisesti pellon alimmassa osassa. Kriittistä kaltevuutta jyrkemmällä paljaalla maalla pintavalunta aiheuttaa selvästi maaperää köyhdyttävän eroosion. Keski-Euroopassa kriittinen kaltevuus on Zacharin (1982) mukaan 5-10 %. Jyrkillä rinnepeleillä jo pelkkä sade aiheuttaa maalajitteiden nettosiirtymistä alaspäin. Loivalla alle 3 %:n rinteellä sateen intensiteetillä ei ole suurta vaikutusta eroosioon (kuva 5).

Free ja Bay (1969) vertailivat eroosiomääriä kaltevuudeltaan erilaisilla pelloilla. Maalaji oli hiesua ja peltojen kaltevuudet 4.7, 9.3 ja 16.8 %. Eroosiomäärien suhde oli 1:3:29. Täten kaltevuuden nousu 3,6 kertaiseksi lisäsi eroosiota 29 kertaiseksi. Koealueella vuotuinen sademäärä oli n. 850 mm. Talvella maa oli muokkauskerroksen syvyydeltä roudassa.

Kaltevuusprofiili voi vaihdella kuperasta koveraan. Kuperassa profiilissa pellon jyrkkyys kasvaa pellon alareunaa kohden, mikä lisää veden virtausnopeutta ja eroosiota. Koverassa profiilissa pellon jyrkkyys pienenee alareunaan ja valunnan mukana kulkeutunutta maa-ainesta sedimentoituu takaisin maan pinnalle (Foster 1982).

Peltolohkon rinteiden suuntainen pituus lisää myös kumuloituvan valunnan määrää. Kriittistä pituutta pitemmällä pellolla pintavalunta kumuloituu pellon alareunaan niin suureksi, että eroosio alkaa köyhdyttää maaperää. Koepelloilla, jossa rinteiden pituudet olivat 11, 22 ja 64 m, Free ja Bay (1969) totesivat eroosiomäärien suhteeksi 1:1:3. Pellon kaltevuus vaikuttaa lohkon kriittisen pituuteen. Mitä pienempi kaltevuus on, sitä pitempi lohko voi olla eroosion kasvamatta haitalliseksi.

Gilley ym. (1987) mittasivat eroosionopeutta rinteiden pituuden suhteen pelloilla, jossa maalaji oli hiesusavea ja kaltevuus 6,4 %. Pintavalunnan aiheuttama eroosio kasvoi rinteiden alasuuntaan valunnan ja virtausnopeuden kasvaessa. Koeksessa 20 m kohdalla eroosionopeudessa tapahtui jyrkkä nousu. Syynä tähän oli



Kuva 5. Sateen intensiteetin ja maanpinnan kaltevuuden vaikutus eroosioon (Neal 1938, ref. Zachar 1982). Kokeet oli tehty laboratoriossa, kaltevuudet prosentteina.

pintavalunnan voimakas noroutuminen. Koepelto oli kynnetty ja äestetty juuri ennen sadetusta. Sadetuksen intensiteetti oli 48 mm h<sup>-1</sup>.

Pekkarinen (1979) havaitsi, että pellon kaltevuuden ja pinta-alaosuuden kasvu yhdessä lisäävät valuma-alueen eroosiota. Mansikkaniemi (1982) käsitteli peltovaltaisen valuma-alueen topografiaa jakamalla alueen summittaisesti 1 ha:n ruutuihin. Analyysiin otettiin mukaan vain ne ruudut, joissa peltoala oli yli 50 % ruudun alasta. Ruutujen keskikaltevuus yhdessä peltoprosentin kanssa selittivät hänen tutkimuksessaan 89 %:sti kiintoaineksen keskimääräistä vuosikulkeumaa.

### 2.1.6 Viljelytekniikka ja kasvipeitteisyys

Maanmuokkaus muuttaa voimakkaasti muokkauskerroksen tilaa. Veden varastotilan ja läpäisevyyden muuttuminen vaikuttavat merkittävästi valuntasuhteisiin. Toisaalta maan pinnan laatu riippuu kasvipeitteisyyden määrästä tai muokkauksen voimakkuudesta. Tällä on taas suora vaikutus pintavalunnan aiheuttaman eroosion määrään.

Lähinnä eroosion vuoksi maailmalla on kehitelty kevyempiä ns. suojamuokkausmenetelmiä (Concervation tillage). Näissä menetelmissä pellon pinnalle tai pintakerrokseen jätetään eriasteinen korjuujäännösten peitto (Baker ja Laflen 1983, Dickey ym. 1983, 1985). Soil Conservation Society of America (1982, ref. Andraski ym. 1985) on määritellyt suojamuokkauksen menetelmäksi, jossa maata ei käännetä lainkaan. Dickey ym. (1984) mukaan suojamuokkausmenetelmiä ovat kaikki menetelmät, joissa korjuujätteet peittävät pellon pinnasta yli 20 %. Suomessa käytetään yleisesti termejä 'kevennetty muokkaus' ja 'talviaikainen kasvipeitteisyys', joihin molempiin liittyy samoja ominaisuuksia kuin em. suojamuokkaus-käsitteisiin.

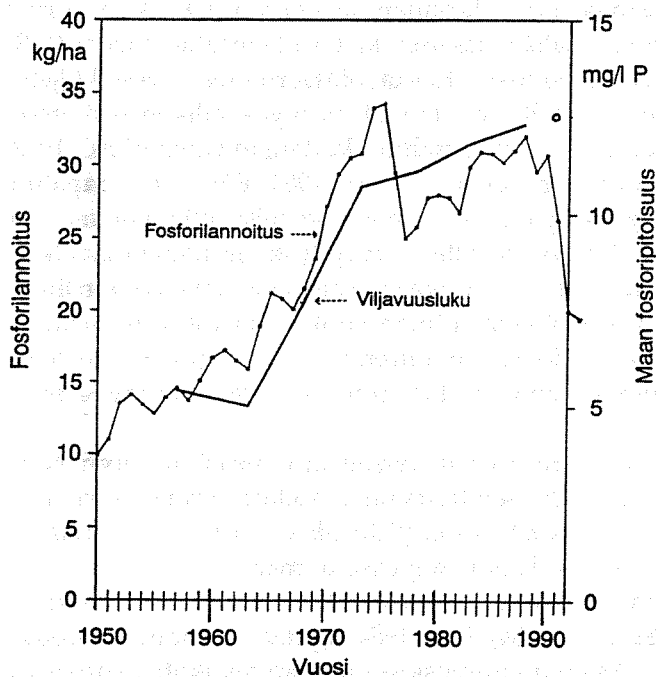
Johnson ym. (1979) havaitsivat kevennetysti muokatulla pellolla kasvinjäännösten lisäävän valunnassa liukaisen fosforin pitoisuutta. Heidän mukaan tämä johtui siitä, että kasvinjäännökset estivät lannoitteen sekoittumista maahan. Toisaalta ne vapauttivat hajotessaan fosforia. Myös Ulen (1984) havaitsi korjuujätteistä liukenevan fosforia. Nurmen ja rapsin jäätyminen vapauttivat n. 0,2 mg fosforia 1 g kasvin kuivapainoa kohden. Ulen arvioi tämän aiheuttavan 0,7 kg fosforikuormituksen hehtaaria kohden. Myös nurmelta liukaisen fosforin huuhtoutuman Ulen (1985) havaitsi kynnettyä peltoa suuremmaksi.



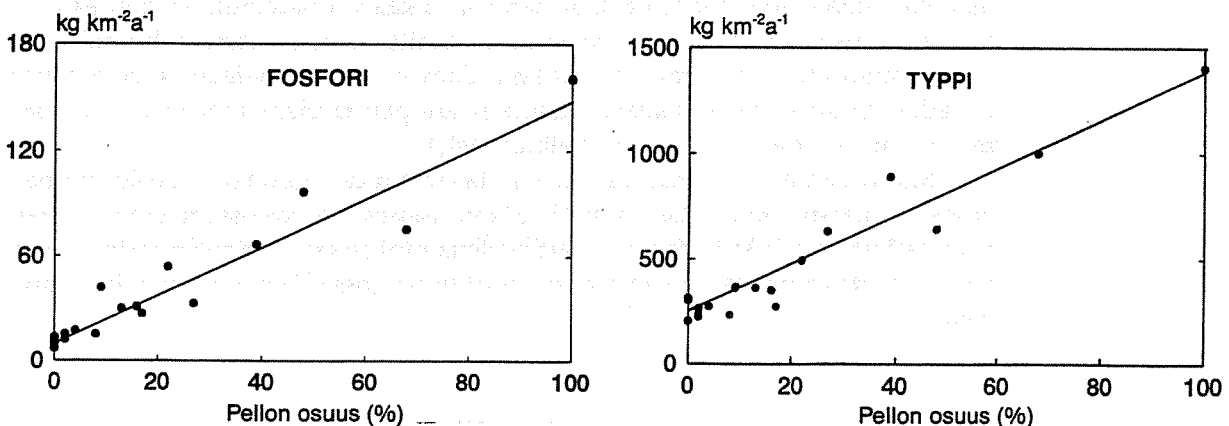
Lannoitustavoista suurimman huuhtoutuman aiheuttaa pintalevitys (Brink ym. 1979, 1984, Gustafson ja Torstenson 1984c, Baker ym. 1983). Erityisen suureksi kuormitusriski kasvaa lannoitettaessa jäätynyttä maata. Gustafson ja Torstensson (1984b) havaitsivat tällaisessa tapauksessa fosforikuormaksi 4,04 kg hehtaarilta vuodessa. Baker ym. (1983) havaitsivat fosforikuormituksen olevan samaa luokkaa lannoitetulla ja lannoittamattomalla pellolla, jos lannoite sekoitettiin tai injektioitiin maahan.

Suomessa on fosforia käytetty lannoitteena vuosittain 1990-luvun alkuun saakka 30-35 kg ha<sup>-1</sup> (kuva 6). Viljaksvit käyttävät fosforia vuodessa noin 10-15 kg ha<sup>-1</sup>. 1990-luvun alussa fosforilannoitteiden käyttö kuitenkin selvästi pieneni. Tämä kehitys on jatkunut EU:n ympäristötukijärjestelmän vaikutuksesta (Grönroos ym. 1998). Aikaisemman runsaan fosforilannoituksen seurauksena muokkauskerroksen P-luvut kohosivat johdonmukaisesti aina 1990-luvun alkuun saakka (kuva 6).

Viljelytekniikan lisäksi peltoalan osuus valuma-alueesta vaikuttaa kuormitukseen (Kauppi 1984, Rekolainen 1992). Pienten, järvettömien ja maankäytöltään vaihtelevien valuma-alueiden havainnot osoittavat pellon osuuden ja fosfori- sekä typpikuormituksen välille vahvan riippuvuuden (kuva 7).



Kuva 6. Fosforilannoitus ja muokkauskerroksen P-luku (Elonen 1994). KUTI-tutkimuksen keskimääräinen P-luku merkitty ympyrällä.



Kuva 7. Valuma-alueen pellon osuuden vaikutus fosfori- ja typpikuormitukseen (Rekolainen ym. 1992)

## **2.2 Eroosioprosessit ja ravinteiden esiintymismuodot peltomailla**

Valunta on pienimmillään hidasta veden suotautumista maakerroksessa ja suurimmillaan vuolasta ja keskittynyttä uomavirtausta maanpinnalla. Tästä johtuen eroosio vaihtelee paljon. Vesierosio on luokiteltu useisiin eroosiolajeihin valunnan ominaisuuksien perusteella.

Sadannasta riippuvainen hydrologinen kierto vaikuttaa suoraan eroosioprosessiin. Maalajien ominaisuudet ja maanpinnan laatu lopulta ratkaisevat kuinka voimakkaana ja miten eroosio käynnistyy. Vesi on keskeinen tekijä myös ravinteiden huuhtoutumisessa. Kun kasvit ottavat tarvitsemansa ravinteet veden mukana, on pellon vesitalouden säätelyssä suuri riski kuljettaa ravinteet kuivatusvesien mukana pellon ulkopuolelle. Ratkaisevaa tässä on se, missä muodossa ravinteet ovat muokkauskerroksessa.

### **2.2.1 Eroosiolajit**

Pintaerosion aiheuttaa maan pinnalla ohuena ja tasaisena kerroksena virtaava vesi. Tämä on mahdollista löyhällä ja tasaisen kaltevalla maalla. Zachar (1982) on nimennyt ilmiön laminaarierosioiksi. Koska pintaerosiossa vesi kuljettaa maasta vain hienojakoisimpia lajitteita, sitä kutsutaan myös valikoivaksi eroosioiksi. Käytännössä pelkkää pintaerosiota tapahtuu kuitenkin vähän (FAO 1978).

Mikrokanavaerosiota (Schwab ym. 1981, Foth 1984, FAO 1978) tapahtuu pellon pinnalla olevien pienten painaumien täytyessä vedellä, jolloin niiden välille muodostuu yhdyskanavia. Mikrokanaville on tyypillistä mutkittelu ja jatkuva muodon muuttuminen. Mikrokanavia on vaikea havaita ja vesi näyttääkin liikkuvan maan pinnalla tasaisena kerroksena. Tämän vuoksi sitä yleisesti kutsutaan pintaerosioiksi, vaikka se on eri ilmiö. Veden suuremman virtausnopeuden vuoksi mikrokanavissa tapahtuva eroosio on voimakkaampaa kuin laminaarisessa pintaerosiossa (FAO 1978).

Pintavalunnan kasvaessa mikrokanavat laajenevat nopeasti noroiksi. Norojen ja mikrokanavien välillä ei ole yksiselitteistä rajaa. Vaikka norot ovat kooltaan pieniä, niissä tapahtuva eroosio on tehokasta (Schwab ym. 1981). Jos virtaaman turbulenssi on voimakas norossa, se kasvaa nopeasti uomaksi.

Luonnonuomia kuluttavista ilmiöistä käytetään käsitteitä vesiputous- ja uomaerosio (Schwab ym. 1981, Foth 1984). Foth 1984 käyttää molemmista eroosiolajista käsitettä rotkoerosio. Vesiputouserosiossa uoman alkukohta siirtyy ylävirran suuntaan veden kuluttaessa uoman alkupäähän muodostunutta porrasta. Vesiputouserosiota synnyttävälle virtaamalle on tyypillistä epäsäännöllisyys (Schwab ym. 1981). Uomaerosiossa (ojaerosio) vaikuttavina voimina ovat uoman virtaaman leikkausvoima. Uomaerosio alkaa jo gradientiltaan pienessä virtaamassa, jos se on jatkuvaa. Kaivetuissa uomissa eroosio otetaan huomioon jo uoman suunnittelu- ja mitoitusvaiheessa. Uomaerosiota voidaan estää säätämällä veden virtausnopeus maalajikohtaista rajanopeutta pienemmäksi tai vahvistamalla uoman virtauspintoja (Vesihallitus 1986).

Maaveden aiheuttamaa piiloerosiota ovat maan sisäinen eroosio, tunnelierosio ja karstierosio (Zachar 1982). Maan sisäisessä eroosiossa maahan suotautuva vesi irrottaa ja kuljettaa maapartikkeleita mukanaan. Tunnelierosiossa maavesi syövyttää käytävän maan sisään olosuhteissa, jossa löyhän maan alla on tiivis maakerros.

## 2.2.2 Kiintoaineen irtoaminen ja kulkeutuminen

Eroosio alkaa kun maapartikkeleita ympäröivien partikkeleiden sitomisvoimat lakkaavat pitämästä niitä paikoillaan. Sade ja valunta aiheuttavat eroosiota joko yhtäaikaisesti tai erikseen. Sadepisarat aiheuttavat eroosiota niiden lajitellessa maapartikkeleita (Linsley ym. 1975, Schwab ym. 1981, Marshall ja Holmes 1981). Tasaisella maalla irronneet maapartikkelit liikkuvat satunnaisesti eri suuntiin, mutta kaltevalla maalla nettosiirtymistä tapahtuu rinteiden alasuuntaan.

Sadepisaroiden aiheuttama maahiukkasten sinkoilu on suurimmillaan sateen alussa. Sen irroitusvoima on suoraan verrannollinen sadepisaran kolmanteen potenssiin. Sateen jatkuessa maanpinnalle kerääntyy vettä, mikä vaimentaa pisaroiden iskuvoimaa. Sateen aiheuttama eroosio on voimakkainta rinteiden yläosassa. Pintavalunnan kumuloituessa rinteiden suunnassa valunnan aiheuttama eroosio tulee vallitsevaksi rinteiden alaosassa. Pintavalunta kuljettaa sekä sadepisaroiden irrottamia (Linsley ym. 1975, Zachar 1982) että itse valunnan irrottamia maapartikkeleita. Pintavalunnan kuljetuskapasiteetti moninkertaistuu sateella veden turbulenttisen virtauksen vuoksi (FAO 1978, Marshall ja Holmes 1981, Bennett 1955).

Jos virtaavaan veteen on suspendoitunut kiintoainetta kuljetuskapasiteettia enemmän, ylimääräinen kiintoainekas sedimentoituu takaisin maahan. Tällainen tilanne syntyy esim. veden virtausnopeuden pienentyessä. Kiintoainekas hienoin lajite kulkeutuu veden mukana pisimmälle. Suspendoituneen maa-ainekas sedimentoitumisajaksi uoman pohjalle seisovassa vedessä tai laminaarisessa virtauksessa tapahtuu likimain Stokesin lain mukaan (taulukko 1).

Pintavalunnan kuljettama maa-aines etenee vain lyhyitä matkoja sedimentoituen välillä maan pinnalle. Tiheä uomaverkosto lyhentää pintavalunnan matkaa uomaan ja suurempi määrä erodoituneesta maa-ainekasstä päätyy uomavirtaaman kuljetettavaksi. Uomaeroosiossa irronnut maa-aines on välittömästi uomavirtaaman kuljetettavissa.

Uomien pohjalla veden virtausnopeus pienenee ja kiintoainekas pitoisuus kasvaa. Suurin osa kulkeutuvasta maa-ainekas kokonaismäärästä liikkuu pohjan lähellä. Hienommilla maalajitteilla vertikaalisuuntainen pitoisuusjakauma on tasaisempi kuin karkeilla maalajeilla (Schwab ym. 1981).

Karkeat maalajitteet liikkuvat uoman pohjalla liukumalla, tasaisesti vierien tai hyppäyksin. Siihen vaikuttavat maapartikkeleiden ominaisuudet, veden virtausnopeus ja turbulenttisuus, uoman tasaisuus ja kuljetettavissa olevan materiaalin määrä (Linsley ym. 1975, Schwab ym. 1981). Karkeaa hietaa vastaava lajite ( $\varnothing$  0,06-0,2 mm) erodoituu helpoimmin. Tätä hienommilla ja karkeammilla lajiteilla maan erodoitumisherkkyys vähenee (Sundborg 1967, ref. Salo ym. 1985).

Vesistöihin saakka kulkeutunut kiintoainekas poikkeaa määrältään ja laadultaan pelloilta erodoituneesta maa-ainekasstä. Vesistöön tulevan ja pelloilta lähtevän maa-ainekas määräsuhdetta kuvaa DR-luku (Mills ym. 1985). Teoriassa DR-luvun arvot vaihtelevat välillä 0 - 1. Uomaeroosiossa johtuen DR-luku voi kuitenkin olla suurempi kuin yksi. Esim. Pekkarisella (1979) on tätä tukevia havaintoja uomaeroosiossa.

Uomaeroosiossa lisäksi pellon etäisyys vesistöistä, kasvillisuusvyöhykkeet sekä maaston kaltevuus ja epätasaisuus vaikuttavat DR-lukuun. Peltoalueen merkitys vesistön kiintoainekuormittajana on sitä pienempi, mitä kauempana se sijaitsee vesistöistä. Valuma-alueen koon kasvaessa pellon etäisyys vesistöön kasvaa, ja DR-luku pienenee (Vanon 1975, ref. Mills ym. 1985).

Hienoilta maalajeilta erodoituvan ainekas DR-luku on suurempi kuin karkeilla maalajeilla. Pelloilta lähteneet hienot maalajitteet, esim. saves, kulkeutuvat helposti vesistöihin saakka sellaisenaan, kun taas karkeilta maalajeilta erodoitunut aines jää matkalle esim. uomien pohjalle.

Taulukko 1. Maapartikkeleiden laskeutumisopeuksia seisovassa vedessä, jonka lämpötila on 10 °C. Partikkeleiden tiheys 2,65 g/cm<sup>3</sup> (Seuna ja Vehviläinen 1986).

Lajite	Partikkelin ø mm	Laskeutumisaika mm/s	Laskeutumisaika /m
Sora	10,0	1000	1 s
Hiekka	1,0	100	10 s
	0,6	63	16 s
	0,2	21	50 s
Hieta	0,08	6	167 s
	0,06	3,8	263 s
	0,02	0,62	
Hiesu	0,008	0,08	3 h
	0,006	0,065	4 h
	0,002	0,0062	45 h
	0,0015	0,0035	79 h
Savi	0,0001	0,0000154	750 d
	0,00001	0,000000154	205 a

DR-luvun tarkka ennustaminen on vaikeaa. Lyhyillä ajanjaksoilla, esim. yksittäisen valuntatapahtuman yhteydessä vaikeus korostuu. Vuositasolla on mahdollista päästä tyydyttäviin tuloksiin (Novotny ja Chester 1981).

Erodoituneen maa-aineksen hienojen lajitteiden ja alkuperäisen maan hienoaineksen osuuksien suhdetta kuvaataan rikastumiskertoimella (ER-luku). Hienoaineksen rikastuminen johtuu toisaalta eroosion selektiivisyydestä ja toisaalta karkean maa-aineksen nopeasta sedimentoitumisesta. Tämä vaikuttaa vesistöihin kulkeutuvan maa-aineksen ravinnepitoisuuteen. Valuma-alueen koon kasvaessa erodoituvan aineksen ER kasvaa (Mills ym. 1985).

Pellon pinnalla tapahtuu useita eroosioilmiöitä joko samanaikaisesti tai erikseen. Siten pintaeroosion määrä voi vaihdella hyvin nopeasti. Valuma-alueelta tulevista kiintoaineksesta osa on erodoitunut pelloilta ja osa on peräisin uomien pohjalta ja ojaluiskista. Kiintoaineksen alkuperän määräsuhteista ei Suomessa kuitenkaan ole tutkimustuloksia. Pelloilta lähtöisin olevasta kiintoaineksesta pääosa on ilmeisimmin pintavalunnan erodoimaa. Tämä kuitenkin riippuu sateiden määrästä ja rankkuudesta erityisesti keväällä.

Myös maan sisäisellä eroosioilla saattaa olla merkitystä vesien kuormittumiselle. Esim. salaojitetuilla pelloilla salaojavedet ovat ajoittain hyvin sameita, mikä johtunee ainakin osittain maan sisäisestä eroosiosta. Usein salaojavesien sameus ajoittuu kuivien jaksojen päättyessä. Tällöin salaojavesi on alkuperältään pintavettä ja sameus maan halkeamien kautta salaojiin tulleen, mutta maanpinnalta peräisin olevan kiintoaineksen aiheuttamaa.

### 2.2.3 Muokkauskerroksen ravinteet

Peltojen muokkauskerroksen fosforipitoisuus on Suomessa luontaisesti pieni. Ilmastostamme johtuen rapautuminen ei ole edennyt pitkälle. Mitä karkeampira-keista maalajite on, sitä suurempi osa fosforista on apatiittifosforina. Eri maalajien kokonaisfosforimäärissä ei kuitenkaan ole suurta luontaista eroa (Hartikainen 1984).

Kivennäismailla muokkauskerros sisältää fosforia 2 000-3 000 kg/ha. Kokonaisfosforista noin 1/5 on rapautumattomassa apatiittimuodossa ja noin 1/3 on sitoutunut maan orgaaniseen ainekseen. Happamissa maissa osa epäorgaanisesta fosforista on sitoutunut tiukasti rauta- ja alumiinimoksideihin ja -hydroksideihin.

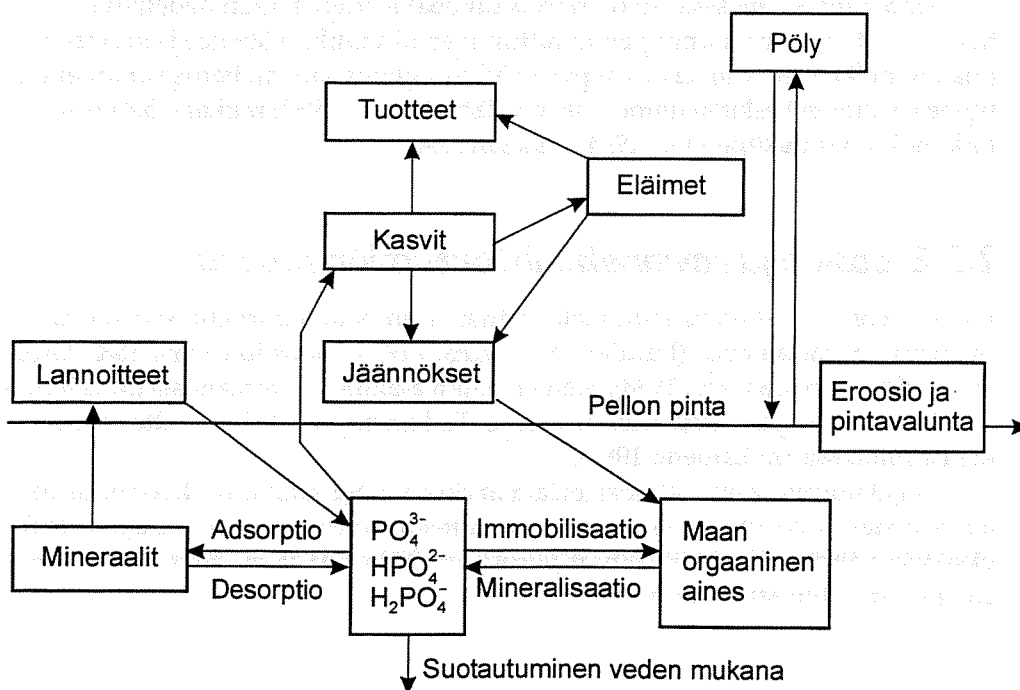
Vain pieni osa kokonaisfosforista on liuenneena maanesteessä. Maansteen fosforipitoisuus on luokkaa 0,1 - 1 mg l<sup>-1</sup> (Jaakkola 1992). Epäorgaanisten fosfaattien lisäksi maanesteessä on fosforia myös orgaanisessa muodossa (Russel 1973).

Maan kyky pidättää fosforia on suoraan verrannollinen sen savespitoisuuteen (Tisdale ja Nelson 1975). Myös maan fosforipitoisuus vaikuttaa sen sitoutumiseen. Jos maa on kokonaan kyllästynyt fosforilla, ei sitoutumista enää voi tapahtua, jolloin ylimääräinen fosfori jää liukoiseen muotoon (White 1979).

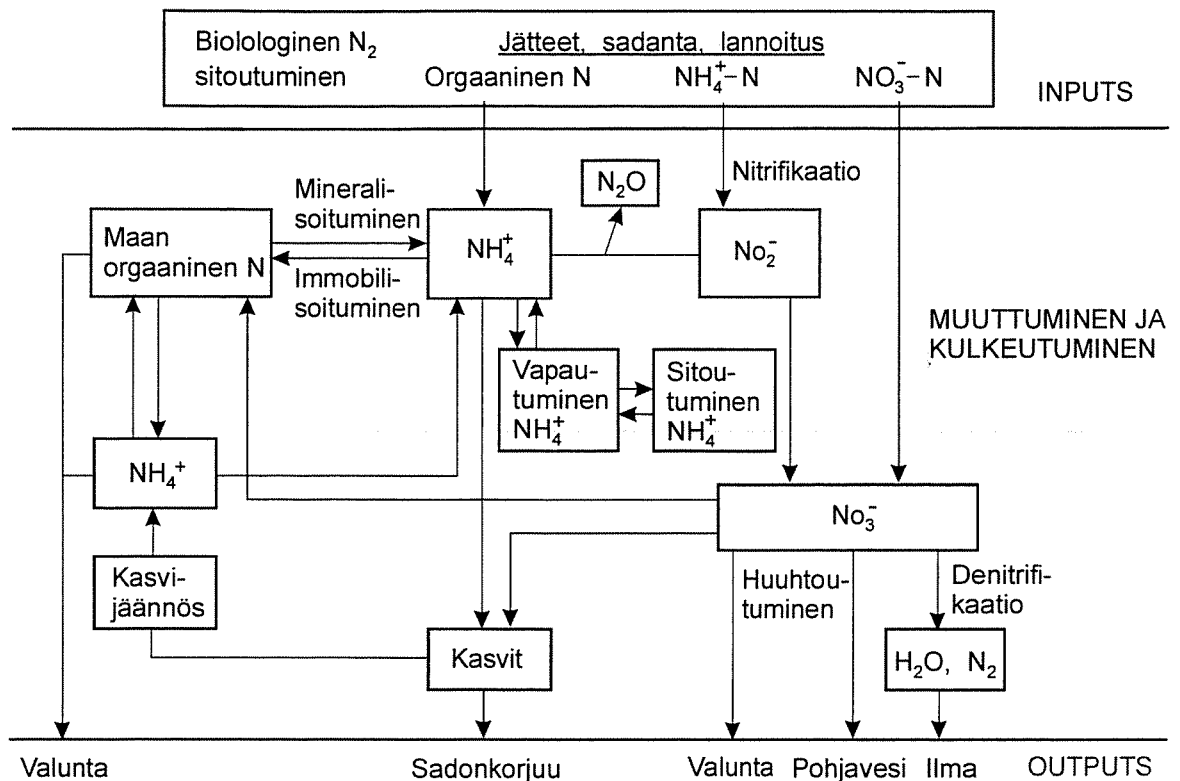
Lannoitettaessa peltoa maansteen fosforipitoisuus kohoaa lannoiterakeen ympäristössä, mikä helpottaa kasveilla fosforin saantia. Fosfori kuitenkin sitoutuu nopeasti maahiukkasiin. Tällöin viljelykasvit pystyvät hyödyntämään lannoitefosforista vain osan (Russel 1973). Maa-ainekseen sitoutunut fosfori voi kulkeutua pellolta eroosioaineksessa. Maanesteessä oleva liukoinen fosfori voi huuhtoutua joko pintavalunnassa tai salaojavesissä (kuva 8).

Orgaanista tyyppiä voi olla runsasmultaisen kivennäismaan muokkauskerroksessa 10 000 kg ha<sup>-1</sup> ja turvemaiden 0-60 cm kerroksessa 40 000-60 000 kg ha<sup>-1</sup>. Pienetkin muutokset mineralisaation nopeudessa muuttavat huomattavasti epäorgaanisen tyyppien määrää maassa (Rasmussen 1980). Tämä puolestaan lisää tyyppien huuhtoutumisriskiä (kuva 9). Muokkauskerroksen kokonaistypistä on kasveille välittömästi käyttökelpoisessa nitraatti- (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ja ammoniummuodossa (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) noin 1-2 % (Russel 1973).

Epäorgaaninen tyyppi esiintyy maassa tavallisimmin nitraattina. Nitraatti-ionin negatiivisen varauksen vuoksi se ei pidäty maahiukkasiin, vaan on maavedessä liukoisena. Siten se on hyvin altis huuhtoutumaan. Ammoniumtyppi pidättyy vaihtuvana kationina maahiukkasiin. Se kuitenkin nitrifioituu melko nopeasti. Mineraalilannoitteiden tyyppi on useimmiten ammonium- ja nitraattimuodossa. Lannoitteissa tulevasta tyypestä pieni osa saattaa sitoutua orgaaniseen ainekseen. Vaikka ammoniumtyppi sitoutuukin maahiukkasten pinnoille vaihtuvina kationeina (Linden 1981), orgaanisen tyyppien mineralisaation ja ammoniumin nitrifikaation vuoksi tyyppi on kokonaisuudessaan altis huuhtoutumiselle (Kolenbrander 1975, Rasmussen 1980).



Kuva 8. Fosforin kierto peltomaassa (Frere ym. 1982).



Kuva 9. Typen kierto peltomaassa (Keeney 1989).

Ravinteiden esiintymismuodot ja saatavuus suhteessa kasvien tarpeeseen riippuvat maan pH:sta. Kasveille haitallisten alumiinin, mangaanin ja raudan liukoisuudet lisääntyvät happamassa maassa. Happamassa maassa kasvien fosforin saanti vaikeutuu liukoisen alumiinin häiritsevän vaikutuksen vuoksi. Lisäksi liukoinen alumiini, mangaani ja rauta sitovat fosforia vaikealiukoiseen muotoon.

Happamassa maassa myös nitrifikaatiobakteerien toimintaedellytykset vähenevät. Siten ammoniumtyypen muuttuminen nitraatiksi vähenee ja kasvien typitalous heikkenee, vaikka kasvit pystyvätkin käyttämään rajoitetusti ammoniumtyyppiä. Peltojen keskimääräinen pH on Kähärin ym. (1987) mukaan 5,84 ja KUTI-tutkimuksen (Puustinen ym. 1994) mukaan 5,64.

### 2.3 Eroosion ja ravinnehuuhtoutumien määrä

Eroosiota on Suomessa tutkittu melko vähän. Kiintoainekuormituksen määrää on selvitetty jokivirtaamista (Lunden 1974, Isotalo 1975, Mansikkaniemi 1982, Grönlund 1988 ja Pitkänen ym. 1988), pienten valuma-alueiden virtaamista (mm. Kauppi 1979, Maasilta ym. 1980, Kohonen 1982, Tikkanen ym. 1985) ja joiltakin peltoalueilta (mm. Mansikkaniemi 1982).

Hajakuormituksen kokonaismäärä arvioidaan Suomessa ns. kuormitusluku- jen perusteella. Ne ovat keskimääräisiä ravinteiden huuhtoutumislukuja peltoala- yksikköä kohden. Kuormitusluvut perustuvat erilaisilla ja eri kokoisilla valuma- alueilla tehtyihin seurantoihin.

### 2.3.1 Eroosion määrä

Valuma-alueen ominaisuudet vaikuttavat eroosion määrään. Taulukossa 2 valuma-alueet ovat kooltaan ja ominaisuuksiltaan erilaisia. Myös kiintoainekuormat ovat erilaisia. Tulosten erilaisuuteen vaikuttaa osaltaan analyysimenetelmässä käytetty suodatinkoko. Mansikkaniemen (1982) tutkimuksessa kiintoaine oli pääosin peräisin peltoalueilta, Tikkasen ym. (1985) tutkimuksessa huomattava osa kiintoaineesta lähti uomien pohjasta ja luiskista.

Eroosion määrä vaihtelee eri vuosina suuresti. Mansikkaniemi (1982) havaitsi sateisena vuonna 6 200 kg ha<sup>-1</sup> paikallisen eroosion, kun sateettomampana vuonna eroosio samalla alueella jäi alle 1 500 kg ha<sup>-1</sup>. Kun vuosisadannassa ja valunnassa ei ole näin suuria vaihteluita, eroosion vaihtelun selittäväksi tekijäksi jää virtaavan veden kiintoainepitoisuuksien suuret vaihtelut. Tähän vaikuttavat mm. sadannan ja valunnan intensiteetti, lumen sulanta, roudan sulaminen jne.

Jokien kuljettamat kiintoainekuormat ovat valuma-alueensa pinta-alayksikköä kohden varsin pieniä (taulukko 3). Kun suuret valuma-alueet koostuvat ominaisuuksiltaan ja käyttömuodoiltaan erilaisista maa-alueista ja eroosiherkkien peltojen osuus valuma-alueen pinta-alasta jää pieneksi, eivät eroosiomäärät voi muodostua valuma-alueen pinta-alayksikköä kohden suuriksi.

Suomessa luontainen eroosio ilmeisesti pitää savialueiden virtaavat vedet pysyvästi sameina. Tähän viittaa mm. Mansikkaniemen (1975) käsitys savialueiden jokilaaksojen muodostumisesta. Pelloilta tuleva kiintoainekuorma lisää entisestään jokivesien sameutta. Eroosio on Suomessa määrällisesti yleensä vaatimatonta. Esim. sokerijuurikassadon mukana pelloilta poistuu maa-ainesta 3 000 kg ha<sup>-1</sup>, jos juurikassato on 30 000 kg hehtaarilta ja tehtaalle tuotuna sen multavuus on 10 %. Tällä tavalla pelloilta poistuvan maan määrä paikallisesti voi olla jopa suurempi kuin eroosiossa. Laadullisesti eroosio on kuitenkin vesistöille määrää haitallisempaa. Äärimmäisissä olosuhteissa eroosio voi aiheuttaa näkyvää haittaa myös pelton muokkauskerroksessa.

Taulukko 2. Suomessa mitattuja kiintoainekuormia pienillä valuma-alueilla.

Alue	Pinta-ala km <sup>2</sup>	Eroosio kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Suodatin μm	Peltoa %
Kurinkrotti <sup>1)</sup>	1,7	1860	0,45	51,2
Vainionoja <sup>1)</sup>	4,2	1350	0,45	63,3
Kotkoja <sup>1)</sup>	4,2	1050	0,45	53,8
Suolanoja <sup>1)</sup>	3,2	730	0,45	32,2
Pajaoja <sup>1)</sup>	2,6	670	0,45	65,8
Kuukkalanoja <sup>1)</sup>	2,5	530	0,45	67,9
Siuntionjoki <sup>2)</sup>				
- alue 1	4,2	200	n. l	7
- alue 2	0,85	147	n. l	40
Koiranoja 1 <sup>3)</sup>	1,12	212	n. l	21
Koiranoja 2	5,18	148	n. l	22
Löyttynoja 1 <sup>3)</sup>	2,31	55	n. l	4
Löyttynoja 2	5,53	116	n. l	14
Hovi <sup>4)</sup>	0,12	140	n. l	100
Yli-Knuuttila <sup>4)</sup>	0,07	87	n. l	0

<sup>1)</sup> Paimionjoki 1977-1979 (Mansikkaniemi 1982)

<sup>2)</sup> Siuntionjoki 1977-1979 (Maasilta ym. 1980)

<sup>3)</sup> Lammi 1981-1982 (Tikkanen ym. 1985)

<sup>4)</sup> Vihti 1968 ja 1974 (Kohonen 1982)

Taulukko 3. Eräiden jokien valuma-alueilta mitattuja kiintoainemääriä.

Alue	Pinta-ala km <sup>2</sup>	Eroosio kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Peltoa %
Aurajoki <sup>1)</sup>	860	105	41
Aurajoki <sup>2)</sup>	860	130	41
Paimionjoki <sup>2)</sup>	1 080	280	41
Paimionjoki <sup>3)</sup>	1 080	250	41
Halikonjoki <sup>2)</sup>	299	250	38
Uskelanjoki <sup>2)</sup>	593	500	36
Vantaanjoki <sup>4)</sup>	1 680	146	29
Vantaanjoki <sup>5)</sup>	1 680	160	29
Porvoonjoki <sup>5)</sup>	1 270	165	-
Mustijoki <sup>5)</sup>	785	121	-
Koskenkylänjoki <sup>5)</sup>	890	105	-
Karjaanjoki <sup>5)</sup>	2 050	16	-
Virojoki <sup>5)</sup>	360	50	-
Kymijoki <sup>5)</sup>	37 200	15	-

<sup>1)</sup> Lunden 1974

<sup>2)</sup> Isotalo 1975

<sup>3)</sup> Mansikkaniemi 1982

<sup>4)</sup> Grönlund 1984

<sup>5)</sup> Pitkänen ym. 1988

### 2.3.2 Fosforin huuhtoutuminen

Rekolaisen (1993) esittämä peltojen keskimääräinen fosforikuormitus 0,9-1,8 kg (jaksolta 1981-1985) on suurempi kuin Kaupin (1984) aikaisempaan havaintojaksoon (1965-1976) perustuva arvio 0,57 kg ha<sup>-1</sup>. Suurempi kuormitusluku johtuu osittain muuttuneesta näytteenotto-strategiasta, mutta fosforikuormitus on myös kasvanut edeltävään jaksoon nähden (Rekolainen 1993). Ruotsissa Brink ym. (1979) esittivät 0,01-2,2 kg:n ja Ulen (1982,1985) 0,13-0,88 kg:n fosforikuormituksen hehtaarilta. Taulukossa 4 se on 0,3-1,0 kg hehtaarilta vuodessa eli selvästi pienempi kuin Suomessa. Norjassa ja Tanskassa fosforin kuormitusluvut ovat samaa tasoa kuin Suomessa.

Happamalla maillamme riittävän ravinteiden saannin turvaamiseksi fosforilannoitteita käytettiin noin kaksinkertainen määrä kasvien tarpeeseen nähden. 1970-luvun puolesta välistä 1980-luvun puoleen väliin fosforia käytettiin vuosittain n. 30 kg hehtaarille. Samaan aikaan Ruotsissa ja Tanskassa käytettiin fosforia noin 20 kg ja Norjassa 30 kg hehtaarille (Lantbruket i Norden 1985). Kasvien tarvetta suurempi fosforilannoitemäärä vähitellen kohotti peltojen fosforilukua ylöspäin. Suomessa on runsaasti heikosti vettä läpäiseviä maalajeja ja ilmasto aiheuttaa runsaat valunnat. Pelkästään nämä syyt yhdessä saattavat aiheuttaa meillä muita Pohjoismaita suuremmat fosforin kuormitusluvut. Toisaalta valuma-alueiden pitkäaikaisseurannatkin sisältävät epävarmuus- ja virhetekijöitä, jotka voivat vaikuttaa suoraan kuormituslukujen arvoihin ja vertailtavuuteen.

Suuri osa pelloilta poistuvasta fosforista päättyy vesistöön maa-ainekseen sitoutuneena (mm. Brink ym. 1979, Pekkarinen 1979, Gustafson 1982, Mansikkaniemi 1982 ja Mills ym. 1985). Myös Bengtsonin ym. (1984, 1986) mukaan pääosa fosforista kulkeutuu maahiukkasten mukana. Salaojavalunnassa he totesivat kokonaisfosforikuormasta tulevan vain 10 %.



Taulukko 4. Fosforin ja typen kokonaiskuormitus Pohjoismaissa (Rekolainen 1993).

Maa	Kuormitus kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	
	Fosfori	Typpi
Suomi	0,9-1,8	8-20
Ruotsi	0,3-1,0	18
Norja	0,7-1,4	20-50
Tanska	0,2-1,6	55-70

Brinkin ym. (1984) mukaan Ruotsissa maa-ainekseen sitoutuneen partikkelifosforin määrä oli enimmillään 67 % kokonaisfosforista. Kaupin arvion (1984) mukaan kiintoainekseen sitoutuneen fosforin osuus kokonaiskuormituksesta on puolet. Ekholm (1993, 1998) taas havaitsi, että Paimionjoessa kulkevasta kokonaisfosforista 25 % oli liukoista reaktiivista fosforia. Tämän lisäksi levät pystyivät hyödyntämään myös kiintoainekseen sitoutuineesta partikkelimaisesta fosforista määrän, joka oli 5 % kokonaisfosforin määrästä. Loput kokonaisfosforista eli n. 70 % oli sitoutuneena maa-ainekseen inaktiiviseen muotoon.

Liukoisen fosforin osuus kokonaisfosforista vaihtelee eri tutkimuksissa (mm. Ekholm 1998, Pietikäinen ja Rekolainen 1991). Fosforin tasapainoreaktiot maa-aineksen ja veden välillä saattavat aiheuttaa tilanteen, jossa liukoisen ja partikkelifosforin suhteet alati muuttuvat veden kiintoainepitoisuuden muuttuessa. Kun fosforikuormitus lähtee pelloilta tietynä kiintoaine-vesisuspensiona, on tilanne kokonaan toisenlainen ainevirtaaman kohdatessa vesistön.

Pelloilta tuleva fosforikuormitus voi joissain tapauksissa olla suuri ilman eroosiotakin. Karkealla maalla Brink (1984) havaitsi lannoitteen aiheuttavan suuren fosforikuormituksen. Gustafssonin (1982) mukaan liukoista fosforia huuhtoutuu eniten hiekkamaalta, koska vesi suotautuu helposti maaperään eikä karkeassa maassa fosforille ole riittävästi sitoutumispintaa. Tämä lieneekin yksi pahimpia fosforin huuhtoutumisriskejä. Maa, jonka fosforiluku on korkea, ei enää kykene pidättämään fosforia samassa määrin kuin aiemmin.

### 2.3.3 Typen huuhtoutuminen

Typen kuormitusluku Suomessa on Rekolaisen (1993) mukaan 8-20 kg hehtaarilta kun aiemmin Kauppi (1984) esitti 15 kg huuhtoutuman hehtaarilta. Typen huuhtoutuminen olisi tämän perusteella pysynyt jokseenkin ennallaan seurantajaksoilta 1965-1976 jaksolle 1981-1985. Kuormituslukujen mukaan typen huuhtoutuminen on Suomessa hiukan pienempi kuin Ruotsissa, mutta oleellisesti pienempää kuin Norjassa ja Tanskassa (taulukko 4).

Suurin osa pelloilta huuhtoutuvasta tyypestä on nitraattityppeä. Sen huuhtoutuminen ajoittuu syksyn ja kevään valuntahuippuihin. Typen kierrosta johtuen pelloilla voi kehittyä tilanteita, jossa kasvien tarpeeseen nähden on ylimääräistä tyyppä. Kun viljelykasvit käyttävät lannoitetypestä 40-80 % ja toisaalta muokkauskerroksen orgaanisen typen mineralisaatio vaihtelee, typen huuhtoutumisriski on aina olemassa. Huuhtoutuvasta tyypestä pääosa tulee liukoisena salaojavalunnassa. Kaltevilla pelloilla pintavalunnassa tuleva tyyppikuormitus voi olla huomattavaa.

Brink (1984) havaitsi, että typen huuhtoutuminen kasvaa merkittävästi lannoitustason noustessa yli 100 kg/ha. Turtola ja Jaakkola (1985) totesivat ohrasta huuhtoutuvan enemmän tyyppä kuin nurmesta. Kun tyyppilannoitus oli molemmil-

la kasveilla 100 kg/ha, ohrasta huuhtoutui (6,3 kg/ha) salaojavesien mukana typpeä noin nelinkertainen määrä nurmeen (1,5 kg/ha) nähden. Lannoitustason kaksinkertaistaminen nurmella kaksinkertaisti myös typen huuhtoutumisen.

Kuormitusluvut eivät kuvaa yksittäisten peltolohkojen kuormitusta, vaan ne osoittavat laajan viljelyalueen keskimääräisen kuormitustason. Kun peltojen maalatit, kaltevuudet, viljelyn intensiivisyys jne. vaihtelevat, on ilmeistä että erilaisilla viljelylohkoilla ravinteiden vuosikuormitus poikkeaa huomattavasti keskimääräisestä kuormituksesta. Vuosittainen vaihtelu johtunee pääosin eri vuosien hydrologisista eroista. Kuormituksen ääriarvoja edustanevat kaltevuudeltaan aivan tasaiset ja hyvin jyrkät pellot.

## **2.4 Maatalouden hajakuormituksen tutkimus**

Teollisuuden ja yhdyskuntien vähentäessä vesistöihin tulevaa pistekuormitusta on vesistöjen rehevöitymistutkimusten perusteella havaittu, että tämä ei riitä palauttamaan vesistöjen tilaa ennalleen. Kun hajakuormitusta ei aiemmin otettu riittävästi huomioon tai ei ollut valmiuksia ja keinoja kuormituksen vähentämiseksi, maatalous jäi lopulta suurimmaksi hajakuormittajalähteeksi.

Tarkasteltaessa vesistöihin tulevia ravinteiden kokonaismääriä kuormituslähteittäin korostuu maatalouden osuus. Tässä tilanteessa 1980-luvun lopulla valtioneuvoston periaateohjelmassa 'vesiensuojelun tavoiteohjelma vuoteen 1995' esitettiin tavoitteet maataloudelle vesistökuormituksen vähentämiseksi (Ministry of Environment 1988). Voimassa olevassa tavoiteohjelmassa vuoteen 2005 tavoitteet on sittemmin päivitetty (Ympäristöministeriö 1998). Niissä maataloudelta edellytetään tehokkaita toimenpiteitä vesiensuojelutavoitteiden saavuttamiseksi.

Suomen liityttyä EU:iin, maataloudelle sovittiin ympäristötukiohjelma. Perustuksessa edellytettävät toimenpiteet perustuvat MAVEROn (Rekolainen ym. 1992) tuloksiin ja 'hyvät viljelymenetelmät'-oppaan (Korkman ym. 1993) suosituksiin. Lähes 90 % maataloista on sitoutunut ympäristötuen perustukseen. Ympäristöohjelmalla on selkeänä tavoitteena eroosion ja hajakuormituksen vähentäminen, mutta toisaalta muutosprosessissa nousee esille uusia selvitettäviä kysymyksiä. Tämä tilanne asettaakin mittavia tavoitteita käytännön tutkimukselle.

### **2.4.1 Kuormituksen tutkimusmenetelmät ja mittaaminen**

Maatalouden hajakuormitusta on tutkittu erilaisilla menetelmillä. Aluksi tutkimuksen tavoitteena on ollut kuormituksen kokonaismäärän ja siinä tapahtuvien muutosten luotettava selvittäminen. Myöhemmin tutkimuksia on suunnattu kuormituksen vähentämismahdollisuuksien selvittämiseen.

Maatalouden hajakuormituksen määrääroviot perustuvat ns. pienten valuma-alueiden seurantoihin (Kauppi 1984, Rekolainen 1993), joita on tehty 1960-luvulta lähtien. Eri viljelymenetelmien vaikutuksia kuormitukseen valuma-alueittain Suomessa ei Suomessa ole tutkittu. EU-tukijärjestelmän tultua voimaan on käynnistetty seurantatutkimus, jossa tavoitteena on selvittää pitemmällä aikavälillä toimenpiteiden vaikutuksia myös valuma-alueilla (Grönroos ym. 1997). Viime vuosina eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista on tutkittu enenevässä määrin mallitarkasteluina.

Eroosiotutkimuksissa on selvitetty lähinnä sen kokonaismäärää, mutta ei sen mekanismeja. Eroosion määrä voidaan laskea mm. mittaamalla norojen ja uomien tilavuuksia ja niiden muutoksia. Menetelmän etuna on nopeus ja edullisuus. Noro-

jen väliin jäävän alueen pintaerosio jää kuitenkin menetelmässä pois. Norojen tilavuuden mittaaminen on käyttökelpoinen menetelmä eroosioprosessin eri vaiheiden tutkimisessa rinteiden eri kohdissa.

Pellolla tapahtuvaa eroosiota voidaan tutkia analysoimalla pintavalunnassa kulkevan maa-aineksen laatua ja määrää. Kiinteitä keräimiä käytetään lähinnä koekentillä. Siirrettäviä keräimiä voidaan käyttää joustavasti esim. tiettyjen viljelytoimenpiteiden aikana normaalissa viljelyksessä olevalla pellolla.

Koekentille asennetuilla kiinteillä keräimillä saadaan tarkempia tuloksia kuin siirrettävillä keräimillä. Koekentillä voidaan tutkia mm. sadannan, valunnan, viljelyn ja pinnanmuotojen vaikutusta peltojen eroosioon. Koekentiltä saataviin tuloksiin on suhtauduttava kuitenkin kriittisesti, koska pintavalunta rajoitetulla alalla poikkeaa suuremman peltoalueen pintavalunnasta. Koeruutujen leveydet ovat vaihdelleet 3 - 10 m ja pituudet 10 - 40 m (Gilley ym. 1987, Dickey ym. 1983, 1984, Deizman ym. 1987, Andraski ym. 1985).

Kaikkien eroosioon liittyvien tekijöiden vaikutusta ei voida tutkia yhdellä kertaa. Kenttäkokeita voidaan nopeuttaa sadettamalla koealuetta. Sateen energiaa, määrää ja intensiteettiä voidaan helposti säädellä sadetuksessa. Sadetuksen aiheuttama pintavalunta kuitenkin poikkeaa luonnollisesta valunnasta.

Virtaavissa vesissä kulkevan kiintoainekuorman perusteella voidaan likimääräisesti arvioida koko valuma-alueen keskimääräistä nettoeroosiota. Menetelmää ovat Suomessa käyttäneet mm. Mussaari (1974), Pekkarinen (1979) ja Mansikkaniemi (1982). Kiintoaineksen määrittäminen voidaan tehdä vesinäytteestä suodattamalla, fotoelektrisesti tai radioaktiivisten isotooppien avulla. Esim. McHenry ja Bubenzer (1985) tutkivat eroosiota ja sedimentoitumista <sup>137</sup>Cs-isotoopin avulla.

Virtaavan veden kiintoainepitoisuus vaihtelee mittausajankohdan ja paikan mukaan. Suurin ongelma on löytää yhteys veden kiintoainepitoisuuden ja todellisten eroosiomäärien väliltä. Tämä edellyttäisi pohjakulkeuman, virtaaman hienoainepitoisuuden ja liuenneiden aineiden määrien analysointia uoman eri kohdissa ja eri suuruisilla virtaamilla. Mittaamista hankaloittaa myös se, että pääosa koko vuoden kiintoainevirtaamasta saattaa tapahtua muutaman tunnin aikana (mm. Walling ja Webb 1981, Rekolainen ym. 1991).

Huuhtoutumiskoekentät soveltuvat erilaisten viljelykäsittelyjen aiheuttamien ravinnehuuhtoutumien tutkimiseen. Suomessa niitä on perustettu lukuisia 1970-luvulta lähtien. Koekentillä on tutkittu eri kasvien, muokkauksen, lannoituksen, kalkituksen jne. kuormitusvaikutuksia. Sittenmin on aloitettu tukimushankkeita pellon vesitalouden ja kuormituksen välisten mekanismien ympärille. Tutkimuskohteina ovat mm. säätösalaajitus ja kalkkisuodinojitus. Ensimmäiset koekentät perustettiin tasaisille maille. Useimmilla koekentillä on mitattu sekä salaojavaluntaa että pintavaluntaa (liite 1). Tutkimustarpeiden kasvaessa tutkimusvälineeksi on otettu mallisovellutukset niin eroosion kuin ravinnekuormituksenkin tutkimukseen.

#### **2.4.2 Kuormituksen tutkimustarpeet ja -tavoitteet**

Viljelyalueilta lähtevä kiintoaine- ja ravinnekuormitus kulkeutuu vesistöihin kuitausjärjestelmien, salaojien ja valtaojien kautta. Vesistöihin rajoittuvilla pelloilla myös suora pintavalunta kuljettaa kiintoainesta ja ravinteita vesistöön. Kaikissa tapauksissa vesi on keskeinen tekijä ja pääosa koko vuoden kuormituksesta tapahtuu hyvin lyhyellä aikavälillä, muutaman viikon aikana syksyllä ja keväällä. Kun valuma-alueiden pinta-alasta pellon osuus on pieni, pelloilta tulevat vedet laimenevat muun valuma-alueen vesiin. Tyypillistä maatalouden hajakuormitukselle on, että se tulee vesistöihin suuressa hetkellisessä vesimäärässä laimeina pi-

toisuuksina. Mitä suurempia vesimääriä ja mitä laimeampia vesiä joudutaan käsittelemään, sitä vaikeampaa on niiden puhdistaminen. Siten voidaan ajatella, että vahinko on jo tapahtunut, kun ainevirtaamat poistuvat peltojen ulkopuolelle.

Kuormitusta voidaan periaatteessa vähentää useissa eri vaiheissa, esim. pellon reuna-alueella tai kokonaan pellon ulkopuolella ennen vesistöjä. Ensimmäinen mahdollinen vaikuttamismahdollisuus on kuitenkin itse kuormittava pelto. Tällöin käsiteltävä vesimäärä pellon pinta-alayksikköä on pienimmillään ja veden ravinnepitoisuudet ovat suurimmillaan, koska laimentumista muun valuma-alueen vesiin ei ole vielä tapahtunut. Pelloilta lähtevän veden kokonaismäärää ei juurikaan voida pienentää, mutta valuntasuhteita voidaan muuttaa sekä kuormittavien aineiden konsentroitumista veteen voidaan merkittävästi vähentää. Tämä voidaan tehdä soveltamalla viljely- ja muokkaustekniikkaa.

Maatalouden vesistökuormitus muodostuu ominaisuuksiltaan hyvin erilaisen viljelylohkojen kuormituksesta. Eroosioon ja hajakuormitukseen vaikuttavia peltojen äärimmäisiä ominaisuuksia ovat esim. tasainen ja jyrkkä pelto, karkeat ja hienot kivennäismaat, viljavuudeltaan heikot ja hyvät maat. Kun viljelylohkot sijaitsevat vesistöihin nähden erilaisten välimatkojen päässä ja niiden ominaisuudet vaihtelevat, on ilmeistä että peltolohkot poikkeavat toisistaan paljon vesistöille aiheuttamansa kuormituksen suhteen. Kun otetaan huomioon hydrologinen vuosisvaihtelu ja eriasteinen viljelyn intensiteetti, voidaan arvioida, että kuormituksesta erilaisissa olosuhteissa ei ole juurikaan luotettavaa tietoa ja niin ollen ei myöskään kuormituksen vähentämiskeinoista ja niiden kohdentamisesta.

Eroosion torjuntaan soveltuvista viljely- ja muokkauskäytännöistä on kirjallisuudessa esitetty runsaasti tutkimustuloksia. Myös Suomessa peltoeroosion vähentämistä pidetään keskeisenä tavoitteena. Toisaalta typpi- ja fosforikuormituksen vähentäminen ovat välttämättömiä vesistöjen rehevöitymiskehityksen pysäyttämiseksi. Muualla tehtyjen suositusten käytettävyys sellaisenaan on rajoitettua meillä käytettävissä olevan viljelytekniikan, pohjoisen asemamme ja hydrologisten olosuhteiden vuoksi. Asia on vaikea myös siksi, että eri kuormituskomponentit eivät välttämättä kulje aina samaan suuntaan.

Kun viljelysuositukset tulisi toteuttaa suunnitelmallisesti lohko-kohtaisena voidaan tutkimukselle asetettaa suuria odotuksia. Kenttätutkimukset välttämättömyydestään huolimatta ovat hitaita tuottamaan uutta tietoa kaikista olosuhteista ja viljelyvaihtoehdoista. Siten myös mallitutkimusten merkitys tässä on hyvin tärkeä. Kenttätutkimuksista saadaan lähtötiedot malleihin ja malleilla voidaan simuloida kenttätutkimusten ulkopuolelle jääviä olosuhteita ja viljelytilanteita.

## Aineisto ja menetelmät

### 3.1 Kokeellisen osan rajaukset ja tavoitteet

Tämän kenttätutkimuksen tavoitteena oli vertailla tavanomaisten viljely- ja muokauskäytäntöjen vaikutusta pelloilta lähtevään kuormitukseen olosuhteissa, joissa sitä potentiaalisesti tapahtuu keskimääräistä runsaammin. Täten kenttäkokeet toteutettiin kaltevalla pellolla, jossa runsaiden pintavaluntojen vuoksi pintaerosio sekä pintavalunnan mukana tuleva ravinnekuormitus ovat merkittäviä. Tutkimusmenetelmänä tässä oli tutkia viljelykäytäntöjen vaikutusta koekentän hydrologiaan. Tutkimus rajattiin muokkauskerroksen valunnan ja sen laadun seurantaan, koska pääosan kokonaisvalunnasta oletettiin tapahtuvan muokkauskerroksessa. Sadon määrää ei mitattu. Keskeisin tutkimuksen tavoite oli osoittaa viljelytoimenpiteiden kuormituserot ja mahdollisuudet vesistökuormituksen vähentäjänä.

### 3.2 Koekentän perustaminen ja aineiston keruu

Aiemmin Suomessa perustetut koekentät oli sijoitettu tasaisille tai vain vähän viettävälle pelloille (liite 1). Valunnat näillä koekentillä muodostuvat pääosin salaojavalunnoista. Pintavalunnat kootaan niissä yleensä kentän alareunasta avo-ojan kautta.

Olevien koekenttien ominaisuuksien ja toisaalta viljelymenetelmien ympäristövaikutuksia koskevan tiedon tarpeen vuoksi oli suuri tarve perustaa uusi koekenttä aiemmista poikkeaviin olosuhteisiin. Kaltevuuden kasvaessa pintavaluntojen odotettiin kasvavan merkittäväksi osaksi kokonaisvalunnasta. Tämä edellytti kokonaan uuden valuntojen keräysjärjestelmän kehittelyä. Mittauksessa muutoin oli sovellettavissa muilla koekentillä käytettyjä menetelmiä.

#### 3.2.1 Pintavaluntakeräinten suunnittelu

Hankkeen alussa kehitettiin kaksiosainen keräin, jolla pintavalunta ja muokkauskerroksen alaosassa tapahtuva valunta voitiin koota erikseen. Keräimen ensimmäinen versio suunniteltiin vuoden 1987 keväällä. Suunnitteluprosessiin sisältyi kaltevalla pellolla toteutettu esikoe. Esikokeen tavoitteena oli tutkia keräimen kykyä koota ja johtaa muokkauskerroksen valuntaa erilaisissa valuntatilanteissa, sekä kiintoaineen mahdollista kasaantumista siihen. Samalla selvitettiin keräinten asentamiseen liittyviä seikkoja. Esikokeessa saatujen kokemusten perusteella keräimen kehittelyä oli mahdollista jatkaa. Esikoe tehtiin Jokioisissa vuoden 1987 kesällä.

Esikokeessa kuusi keräinelementtiä asennettiin tiiviisti vierekkäin kaltevaan rinnepeltoon. Yhden elementin pituus oli 3 m ja leveys 0,25 m. Maahan asennettujen keräimien kokonaispituus oli 18 m. Testattavan keräimen rakenne oli samanlainen kuin lopulliseen muotoonsa kehitetyssä keräimessä (kuva 11), mutta element-

tien pituus ja leveys poikkesivat siitä. Keräimen korkeus sekä päällimmäisen ja alimman keräinelementtien asennussyvyudet olivat esikokeessa samanlaiset kuin myöhemmin varsinaisessa kenttäkokeessa

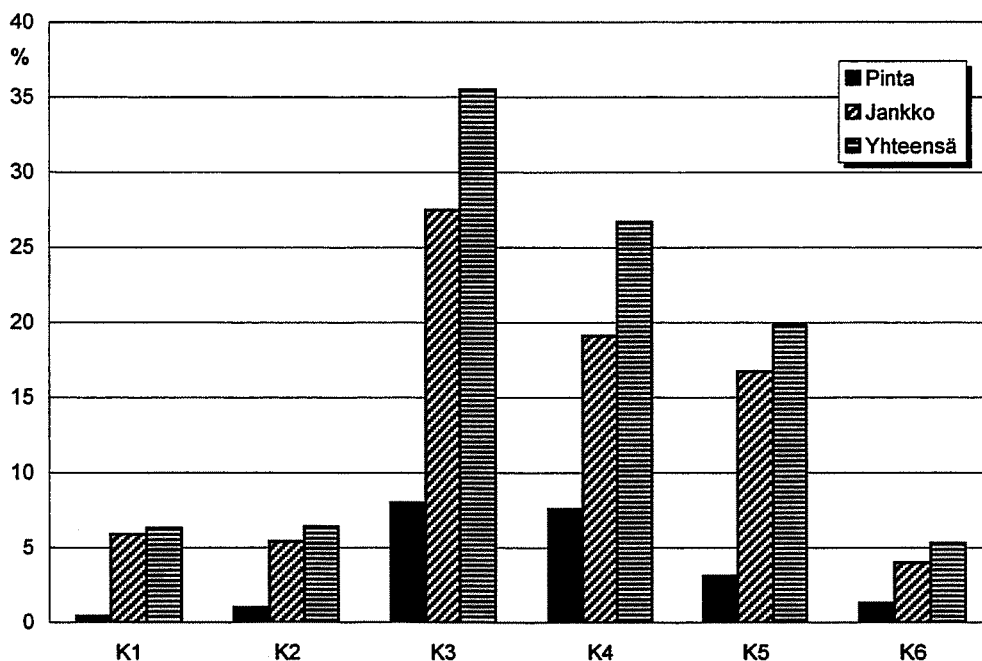
Esikokeessa peltoa sadetettiin neljänä päivänä (15.6.-23.6.). Sadetuksen alkamisaika oli kuivaa. Ensimmäisenä sadetuspäivänä (15.6.) peltoa sadetettiin useissa 30-45 min jaksoissa yhteensä 3 tunnin ajan. Pintavalunta alkoi nopeasti runsaana ja pellon pintaan alkoi muodostua noroja. Seuraavana päivänä (16.6.) peltoa sadetettiin 1,5 h, jonka lisäksi vettä tuli luonnon sateena 8 mm. Kolmannen päivän vastaisena yönä satoi vettä noin 30 mm ja märkää peltoa sadetettiin ainoastaan 0,5 h (17.6.). Neljäntenä sadetuspäivänä mennessä (23.6.) maa oli kuivunut ja peltoa sadetettiin yhteensä 4 h. Sadetuksessa laskennallinen tuntisadetus oli 5-6 mm ja sadetuksen kokonaismäärä 45-54 mm.

Sadetuksen ja luonnollisen sateen aiheuttamasta pintavalunnasta mitattiin kunkin keräimen ylä- ja alaosan (vrt. kuva 11) kautta tullut vesimäärä. Kullekin keräinelementille laskettiin suhteellinen valunta, valunnan jakauma ja elementtien ylä- ja alaosasta tulleen valunnan osuudet (taulukko 5). Tällä perusteella arvioitiin koko muokkauskerroksen valunnan vertikaalista ja horisontaalista jakaumaa.

Vierekkäisiin keräinelementteihin tullut vesimäärä vaihteli paljon, mutta lähes symmetrisesti (kuva 10). Tämä johtui valunnan voimakkaasta noroutumisesta sadetetulla alueella. Valunta ohjautui noroissa lievän painanteen suunnassa säännönmukaisesti keskimmäisiin keräimiin. Sadetuksen ja toisen sadetuspäivän jälkeisenä yönä tulleen luonnollisen sateen (30 mm) aiheuttama valunta jakaantui keräimiin samalla tavalla. Ylä- ja alatason valunnoissa oli selvä ero. Mitatusta valunnasta 79 % tuli alempien keräimien kautta.

Esikokeen perusteella tehtiin seuraavat johtopäätökset:

- keräimiin tuleva vesimäärä vaihtelee paikan suhteen
- leveällä koeruudulla norojen vaikutus tasaantuu
- koeruudulla ei saa olla sivuttaista kaltevuutta
- muokkauskerroksen valunnasta vain osa on pintavaluntaa.

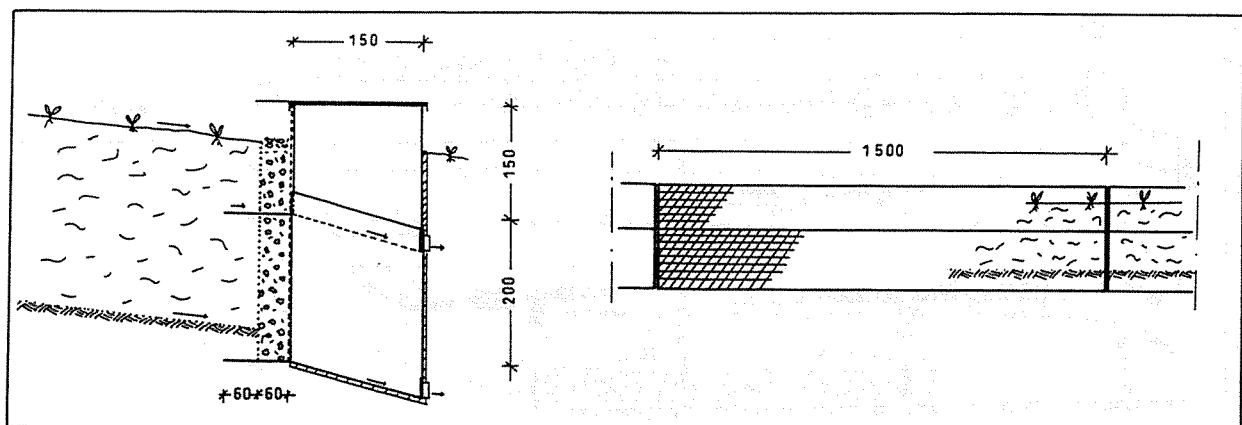


Kuva 10. Muokkauskerroksen valunnan jakautuminen koekeräimiin vuoden 1987 esikokeessa.

Keräin kehitettiin lopulliseen muotoonsa esikokeessa saatujen kokemusten perusteella. Keräinelementit valmistettiin 0,5 mm ruostumattomasta teräslevystä. Elementtien avoimiin etuseinämiin kiinnitettiin teräsverkko (ø12 mm). Keräinelementit suunniteltiin siten, että ne voidaan asentaa tiiviisti vierekkäin koeruutujen alareunaan. Keräimet koostuvat kahdesta kotelomaisesta päällekkäin asennettavasta elementistä (kuva 11), joiden pituus on 1,5 m ja leveys 0,15 m. Päälimmäisen elementin korkeus etupuolelta on 0,15 m ja alimmaisen 0,20 m. Päälimmäinen elementti kokoaa pintaveden 0-10 cm syvyydestä ja alimmainen syvemmällä muokauskerroksessa liikkuvan veden 10-30 cm syvyydestä. Elementtien pohja on kalteva takaseinämän keskellä olevan poistoputken suuntaan.

Taulukko 5. Esikokeessa keräinelementeistä (E1-E6) mitattu suhteellinen valunta (%) eri sadetuspäivinä pintakerroksesta (p) 0-10 cm syvyydestä ja jankkerroksesta (j) 10-30 cm syvyydestä sekä koko muokauskerroksen valunnan jakauma (q) eri sadetuspäiville ja jankkerroksen valunnan osuus (jq) koko muokauskerroksen valunnasta.

Sadetus- aika		Keräinelementeistä mitattu suhteellinen valunta (%)												yhteensä	q %	jq %
		E1		E2		E3		E4		E5		E6				
		p	j	p	j	p	j	p	j	p	j	p	j			
I	pv	0,0	8,5	0,0	2,8	0,0	30,3	12,0	21,1	0,0	25,4	0,0	0,0	100,0	5,8	88,1
	yö	0,0	5,1	0,0	6,9	0,0	42,5	2,3	21,3	0,0	21,8	0,0	0,0	100,0	7,0	97,6
II	pv	0,4	10,1	0,0	8,0	0,8	31,5	9,7	13,9	1,3	23,1	0,0	1,3	100,0	9,6	87,9
	yö	0,6	6,7	1,7	6,3	7,2	23,5	5,3	24,6	1,4	15,1	1,3	6,4	100,0	55,9	82,6
III	pv	0,0	7,5	0,0	2,5	0,0	42,5	12,5	10,0	5,0	17,5	0,0	2,5	100,0	1,6	82,5
	yö	0,0	5,7	0,0	7,5	0,0	20,8	7,5	24,5	9,4	18,9	3,8	1,9	100,0	2,2	79,3
IV	pv	0,0	0,7	0,2	1,4	23,4	29,2	14,7	2,4	11,3	13,3	2,7	0,7	100,0	16,8	47,7
	yö	0,0	3,7	0,0	7,4	0,0	48,1	3,7	22,2	0,0	11,1	0,0	3,7	100,0	1,1	96,2
Keskim.		0,4	5,9	1,0	5,4	8,0	27,5	7,6	19,1	3,1	16,7	1,3	4,0	100,0		78,6



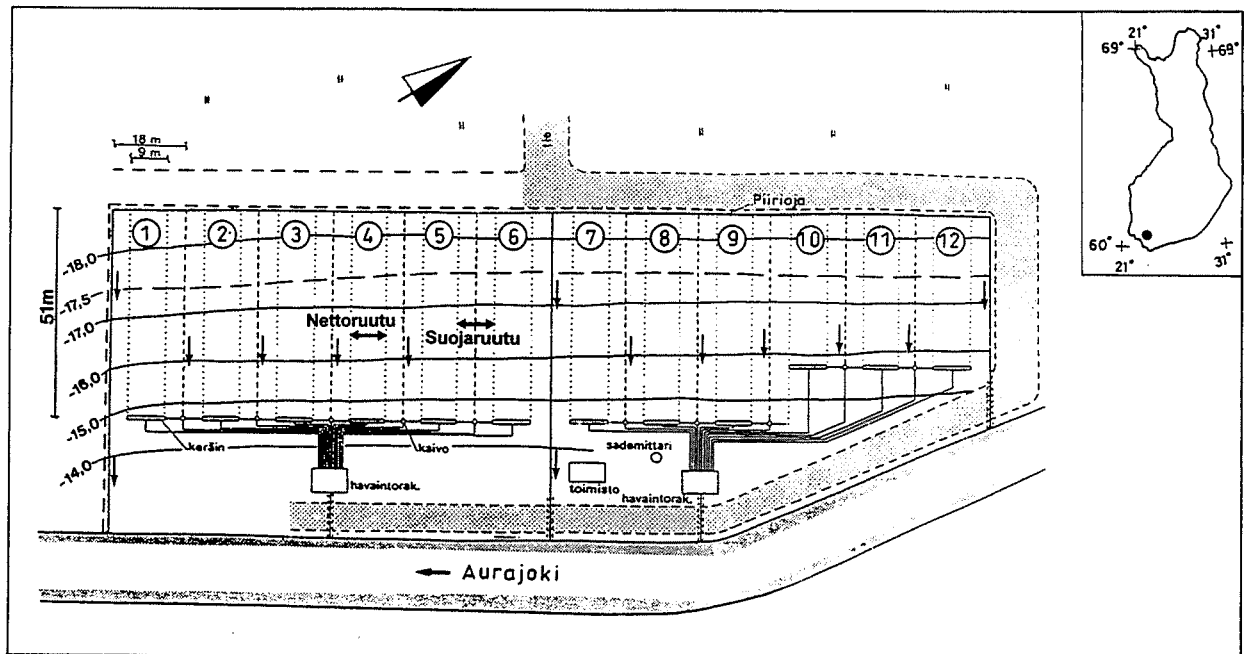
Kuva 11. Tutkimuksessa käytetyn keräimen rakenne.

### 3.2.2 Koekentän suunnittelu ja toteutus

Koekenttä perustettiin Aurajoen varteen kaltevalle pellolle. Koekentälle suunniteltiin 12 vierekkäistä koeruutua. Maastosta johtuen yhdeksän koeruudun pituus on 51 m ja kolmen koeruudun 37 m (kuva 12). Ruutujen kokonaisleveys on 18 m. Koealueen pinta-ala on 1,02 ha. Ruutujen pinta-ala on 9,14 a (9 kpl) ja 6,57 a (3 kpl). Koeruudut sijaitsevat korkeuskäyriin nähden kohtisuorassa. Koeruutujen pintakaltevuus on kentän alareunassa (9 %) hiukan suurempi kuin yläreunassa (8 %). Muokkauskerroksen valunta koottiin ruutujen alareunaan sijoitettavilla keräimillä 9 m leveydeltä (so. nettoruutu). Vierekkäisten netturuutujen väliin jätettiin suojaruudut, joiden pinta-ala on yhtäsuuri kuin netturuutujen pinta-ala. Suojaruutujen valunta koottiin niiden alareunasta matalaa ojaa pitkin pintavesikaivoon ja siitä edelleen havaintorakennukseen. Täten suojaruuduilla menetelmä ei ole samanlainen kuin netturuuduilla. Tällä järjestelyllä kuitenkin pyrittiin kontrolloimaan koko koekentän muokkauskerroksen valuntaa.

Keräimet asennettiin koeruutujen alareunaan tehtyyn matalaan kaivantoon. Kaivannon pohja eristettiin tasoituksen jälkeen 5 cm vahvuisella styroxlevyllä roustaantumisen estämiseksi. Kaivannon koeruutujen puoleinen seinämä tehtiin pystysuoraksi, jolloin keräimien tasoja rajoittavat ulokkeet voitiin asentaa käsittelemättömään maahan. Kaivannon pystysuoran seinämän ja keräimen teräsverkon väliin asennettiin 6 cm vahvuinen singelikerros. Tällä pyrittiin estämään kaivannon pystysuoran seinämän eroosio. Toisaalta karkea singelikerros ei kykene suodattamaan kiintoainesta koekentältä tulevasta vedestä. Asennuksen loppuvaiheessa keräinten takaseinän ja maan väliin asennettiin myös eristelevy.

Valunta johdettiin keräimistä havaintokoppiin maahan asennetuilla yhdysputkilla. Putket eristettiin jäätymiseltä. Koekenttään rajoittavalta peltoalueelta tulevat vedet johdettiin kentän sivuitse piiriojilla. Koekentän asennukset tehtiin kahdessa vaiheessa vuoden 1987 syksyllä ja vuoden 1988 syksyllä.



Kuva 12. Koekenttä ja sen topografia.



### 3.2.3 Koekentän maalaji ja maan ravinnepitoisuus

Koekentän muokkauskerroksen (0-25 cm) maalaji on hiuesavea. Savespitoisuus on koekentän alareunassa hiukan alle 60 % ja yläreunassa 45-55 %. Heti muokkauskerroksen alapuolella maa on aitosavea, jonka savespitoisuus on yli 60 % (taulukko 6).

Muokkauskerroksen fosforipitoisuudet määritettiin veteen (uuttosuhde 1:60) ja happamaan ammoniumasetattiin (uuttosuhde 1:10) uuttuvana fosforina (mg P/kg maata). Viljavuusluokituksessa P-luku määritetään happamaan ammoniumasetattiin uuttuvana fosforina mg l<sup>-1</sup> maata. Taulukossa 6 asetaattiuutolla määritetyistä P-pitoisuuksista saadaan likimääräinen P-luku kertoimella 1,2. Koekentällä muokkauskerroksen fosforipitoisuus (n. 30 mg l<sup>-1</sup>) on huomattavasti korkeampi kuin Suomen pelloilla keskimäärin, 12 mg l<sup>-1</sup> maata, (kuva 6 s. 15). Muokkauskerroksen pH on hyvä. Se vaihtelee jonkin verran koeruutujen välillä. Kokonaisuutena koekenttä on kuitenkin varsin homogeeninen.

### 3.2.4 Kenttäkokeet

Kenttäkokeet jakautuivat ajallisesti ja toiminnallisesti kahteen erilaiseen vaiheeseen eli perusjaksoon ja toimenpidejaksoon. Toimenpidejakso koostui neljästä koejaksosta. Jaksot alkoivat syyskuun alussa syysvehnän kylvöstä ja päättyivät toukokuussa pintavalunnan lakattua. Kasvukaudella koekenttä oli valmiustilassa mahdollisten pintavaluntojen mittaamiseksi.

- perusjakso 1.9.1989 - 10.5.1990
- koejakso 90-91 1.9.1990 - 10.5.1991
- koejakso 91-92 1.9.1991 - 10.5.1992
- koejakso 92-93 1.9.1992 - 10.5.1993
- koejakso 93-94 1.9.1993 - 10.5.1994

Perusjaksolla koekentän lähtökohtatilanteessa tutkittiin pelkästään ruutujen välisiä eroja. Tällöin kaikilla ruuduilla peruskäsittelynä oli syysvehnä. Rinteen suuntaisen muokkauksen ja kylvötöiden oletettiin ohjaavan pintavalunnat suoraan suurimman kaltevuuden suunnassa keräimiin ja aiheuttavan mahdollisimman vähän valunnan siirtymistä ruudulta toiselle. Tämän vuoksi koeruutujen reunoilla ei käytetty erillisiä valunnan ohjaimia tai rajoittimia. Perusjakso päättyi vuoden 1990 keväällä.

Taulukko 6. Koekentän maalajitejakauma 25 cm:n syvytydessä sekä muokkauskerroksen fosfori, kalsium ja pH.

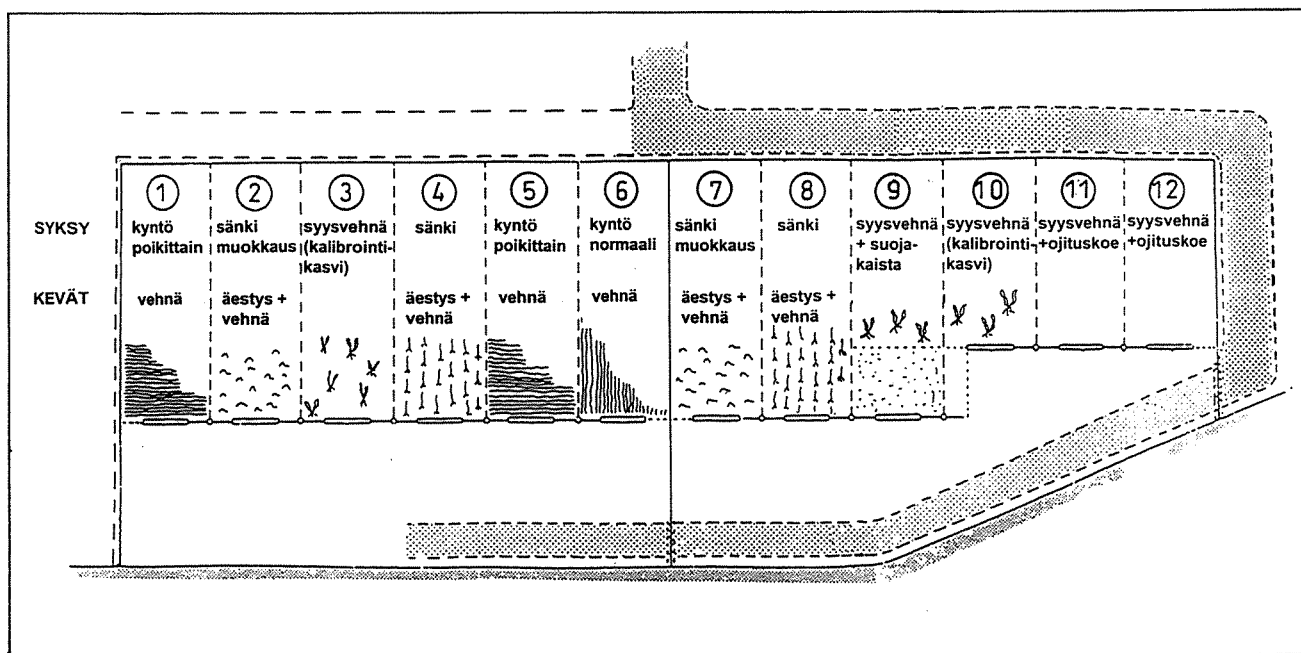
Ruutu	Maalajitteiden osuus %					Pitoisuus mg kg <sup>-1</sup>		Ca	pH
	Humus %	Sa	hHs	kHs	Ht	P <sub>vesi</sub>	P <sub>aset</sub>		
1	5,0	67,1	15,5	13,3	4,3	36,3	23,5	710	6,3
2	4,2	70,4	15,9	10,6	3,1	50,4	30,5	860	6,3
3	4,2	71,1	15,6	10,4	2,9	36,6	24,5	720	6,4
4	4,6	71,2	15,5	10,2	3,1	41,7	27,0	810	6,5
5	5,7	62,7	18,6	12,6	6,1	42,6	27,5	820	6,6
6	4,8	66,3	14,1	12,5	7,1	42,6	25,5	810	6,4
7	4,8	72,5	14,5	9,4	3,7	43,2	29,0	710	6,6
8	4,8	73,8	14,0	9,4	2,8	47,7	30,0	820	6,7
9	4,7	70,9	13,9	11,1	4,2	49,5	33,5	1040	7,0
10	4,5	72,5	14,3	11,0	2,3	39,0	26,5	900	6,6

Koejaksoilla tutkittiin eri viljelykäsittelyjen vaikutuksia valuntaan ja sen pitoisuuksiin. Tällöin peruskäsittely toteutettiin perusruuduiksi valituilla ruuduilla (ruudut 3 ja 10) ja toimenpiteet koeruuduilla. Vuoden 1990 syksystä lähtien koe-kentällä oli seuraavat viljely- ja käsittelyvaihtoehdot (kuva 13).

- syysvehnä/peruskäsittely (syksyllä kyntö, äestys ja kylvö; ruudut 3 ja 10)
- säнки (syksyllä ei toimenpiteitä, keväällä äestys, vehnä; ruudut 4 ja 8)
- sänkimuokkaus (syksyllä äestys S-piikkiäkeellä 8-10 cm, keväällä äestys, vehnä; ruudut 2 ja 7)
- rinteeseen suuntautunut kyntö (syksyllä kyntö, keväällä äestys, vehnä; ruutu 6)
- poikittainen kyntö (syksyllä kyntö, keväällä äestys, vehnä; ruudut 1 ja 5)
- syysvehnä-suojakaista 14 m (timotei-nurmi vuoden 1991 syksystä lähtien; ruutu 9)

Syysvehnäruudut kynnettiin elokuun puolenvälin jälkeen. Ruutujen kylvömuokkaus ja kylvö tehtiin syyskuun ensimmäisellä tai viimeistään toisella viikolla. Sänkiruuduilla korjuujätteet jätettiin syksyllä silputtuina maahan. Sänkimuokkauksessa ruudut äestettiin syksyllä joustopiikkiäkeellä kahteen kertaan, jolloin silputtu korjuujäte muokkautui osittain pintakerrokseen. Rinteeseen suuntautunut kyntö oli normaalia käytännön syyskyntöä. Koeruudun alapäähän ei kuitenkaan tehty poikittaista päistekyntöä. Poikittainen kyntö tehtiin mahdollisimman tarkasti korkeuskäyrien suuntaisesti. Säнки ja sänkimuokkausruuduilla kylvömuokkaus tehtiin keväällä äestämällä ja kylvö normaalin käytännön mukaan. Koeruudulle 9 perustettiin I koejakson jälkeen (vuoden 1991 toukokuussa) 14 m levyinen nurmikaista suojakaistaksi kylvämällä timotei ruudun alapäähän.

Lannoituksessa noudatettiin tavanomaista paikkakunnan käytäntöä. Syksyllä syysviljaruuduilla käytettiin typpeä 40 kg/ha ja fosforia 35 kg/ha sekä keväällä typpeä 110 kg/ha. Kevätviljoilla typpeä käytettiin 120 kg/ha ja fosforia 35 kg/ha. Koeruuduilta ei mitattu sadonmäärää, joten sen mukana poistuvia ravinnemääriä ei voitu arvioida.



Kuva 13. Koejäsenet.

## 3.3 Valunnan seuranta ja mittausjärjestelyt

### 3.3.1 Vesinäytteiden kokoaminen

Muokkauskerroksen valuntaa mitattiin koeruuduilla säännöllisesti syksystä keväeseen. Valunnan kokonaismäärät kirjattiin kaksi kertaa viikossa ja satunnaiset valunnat niiden päättyessä. Vesinäytteet olivat kokoomanäytteitä ja vastasivat 3-4 päivän tai yksittäisen lyhyemmän valuntajakson valuntaa. Valunnan ja pitoisuuksien vuorokausivaihteluita ja hetkellisiä huippuja ei tällä koejärjestelyllä voitu tutkia.

Salaojavalunnan kokoamista ja analysointia ei tämän tutkimuksen aikana järjestetty. Sen osuus kokonaisvalunnasta arvioitiin alueen sadannan ja koekentän valunnan suhteen perusteella ja vertaamalla sitä toisen alueen samanaikaisiin hydrologisiin ilmiöihin (kts. 5.1.3)

### 3.3.2 Vesianalyysit

Vesinäytteet analysoitiin Lounais-Suomen ympäristökeskuksen laboratoriossa. Niistä analysoitiin kiintoaine, kokonaisfosfori (SFS 3026), fosfaattifosfori (SFS 3025), kokonaistyyppi (SFS 5505), nitraatti-nitriittityppi, sähkönjohtavuus (SFS 3022), pH (SFS 3021) ja sameus. Standardisoidut analyysimenetelmät on kuvattu LOS:n laboratorion laatukäsikirjassa (1995).

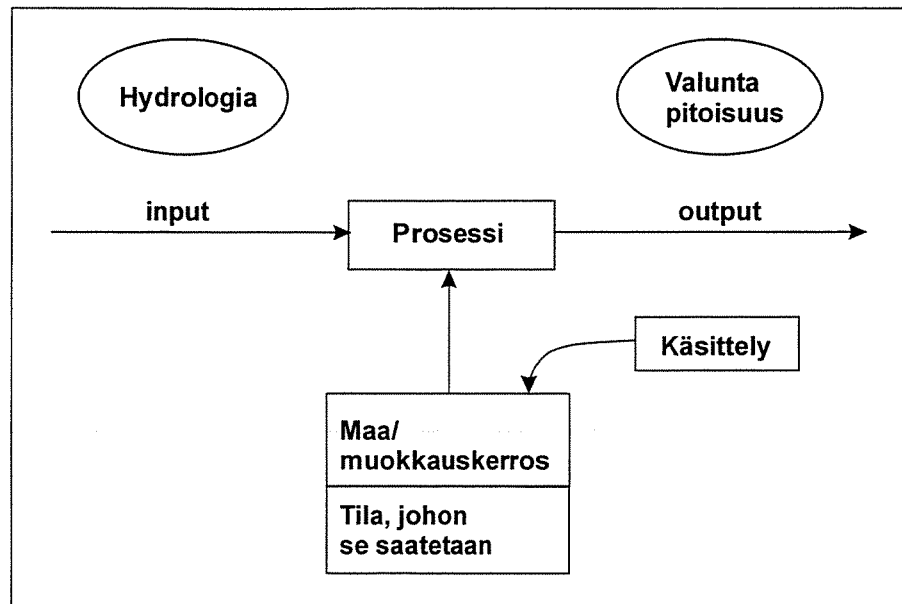
Kiintoaine määritettiin aluksi Nuclepore-suodinta ( $0,45 \mu m$ ) käyttäen. Se osoitautui kuitenkin työlääksi menetelmäksi. Tästä syystä kiintoainemääritykset tehtiin toisen koejakson syksystä (25.11.1991) lähtien haihdutusjäännöksenä. Kokonaistyyppien määrityksessä käytettiin laboratorion omaa sovellutusta, modifioitua Kjeldahlmenetelmää. Nitraatti- ja nitriittipitoisuus määritettiin summamäärityksenä. Fosfaattifosforista käytetään määrittämenetelmästä johtuen lyhennettä *DRP* (*dissolved reactive phosphorus*).

### 3.3.3 Muut mittaukset

Koekentällä mitattiin ns. routaputkilla roudan muodostuminen, sen vahvuus ja sulaminen. Sademäärät perustuvat Ilmatieteen laitoksen Turun lentokentän havaintoihin. Asema sijaitsee n. 5 km:n etäisyydellä koekentästä. Koekentän maala-  
jin perusmäärityksen lisäksi ruuduilta tehtiin myöhemmin täydentäviä muokkauskerroksen fosforimäärityksiä.

## 3.4 Aineiston käsittely

Aineiston käsittely perustuu systeemanalyttiseen tarkastelutapaan. Tutkittava ilmiö voidaan ajatella siten, että pellon pinnalla ja muokkauskerroksessa tapahtuvat prosessit muuttavat tähän systeemiin tulevasta inputista seuraavaa outputia (kuva 14). Prosessin vaikutukset ovat mitattavissa outputista valunnan määrän ja pitoisuuksien muutoksina, kun koko alueelle tuleva input on sama. Siis koekentän hydrologiset olosuhteet ovat samanlaiset sen eri osissa. Itse prosessiin vaikuttaa maa, sen ominaisuudet ja tila. Maan tilaa taas muuttavat viljely- ja muokkaus-



Kuva 14. Pellon muokkauskerroksen hydrologinen prosessi.

Perusjaksolla koekentän yhtäläinen viljelykäsittely oli lähtökohtana varsinaiselle kenttäkokeelle. Kun perusjaksolla kaikilla koeruuduilla oli mahdollisimman samanlaiset olosuhteet, koejaksoilla koeruutujen muokkauskerros saatettiin tarkoituksellisesti toisistaan poikkeavaan tilaan. Tällöin koeruutujen olosuhteet olivat samanlaiset vain inputin eli alueen hydrologisten tekijöiden osalta.

Koekentän pintavaluntaa ja valunnan pitoisuuksia tutkittiin erillisinä ilmiöinä. Aineiston käsittelyssä sovellettiin hydrologisissa tutkimuksissa käytettyä ns. vertailualuemenetelmää (Mustonen ja Seuna 1971). Menetelmää perustuu kahden tai useamman alueen pitkäaikaiseen kalibrointijaksoon, jolloin mitataan esim. näiden alueiden virtaamaa. Kalibrointijakson jälkeen tehtävät toimenpiteet näkyvät toimenpidealueilla mitattavien suureiden muutoksina, kun vertailualueella ei vastaavia muutoksia ole olosuhteiden pysyessä ennallaan. Menetelmä sietää vuosivaihtelun vaikutukset, koska se koskee kaikkia alueita.

Tässä kenttäkokeessa perusruudut olivat vertailualueina ja koeruudut toimenpidealueina. Koekentän perusjakso vastaa käsitteellisesti kalibrointijaksoa. Koejaksoilla tutkittavat toimenpiteet toteutettiin vain koeruuduilla ja perusruuduilla oli perusjakson käsittely koko kenttäkokeen ajan.

Perusjakson aineistosta laskettiin ns. kalibrointimallit (regressiomalli) ruutupareittain (perusruutu/koeruutu). Mallissa perusruudun havainnoilla selitettiin koeruutujen havaintoja. Kalibrointimallien laskeminen perustuu hydrologisten havaintojen ajalliseen vaihteluun. Prosessin output tietyllä hetkellä riippuu inputin lisäksi maasta ja maan tilasta. Kun maan tila ja input perusjaksolla oli kaikilla ruuduilla samanlainen, kalibrointimallit kuvaavat ruutujen välistä suhdetta perusjaksolla vallinneiden sääolojen määrittämässä rajoissa.

Jos kalibrointimallien selitysaste ( $r^2$ ) on korkea, esim. välillä 0,95-0,99, ne osoittavat havaintosarjan ajallisen vaihtelun samankaltaisuuden. Tällöin selittämättömän vaihtelun osuus kokonaisvaihtelusta on pieni. Mitä pitempi kalibrointijakso on ja mitä enemmän havaintoja mallit sisältävät, sitä luotettavammaksi ne voidaan todeta.

Koejaksoilla kalibrointimalleilla laskettiin koeruuduille perusruudun havaintojen perusteella laskennallinen valunta ja pitoisuus. Jos viljelykäsittely vaikuttaa valuntaan tai sen pitoisuuteen, se tulee esille laskennallisen arvon ja koekentältä

mitatun arvon erona. Kun koetta jatketaan useita vuosia ja havainnot säännönmu-  
kaisesti osoittavat muutosta, toimivat aika ja peräkkäiset havainnot toistoina edel-  
täville havainnoille. Jos suureen muutos voimistuu ajan myötä esim. yksipuolisen  
viljelyn seurauksena, se tulee esille itse havaintosarjasta kokeen jatkuessa.

Kun laskennalliset vertailuarvot luetaan kalibrointimalleista (regressiosuo-  
ra), se pienentää jonkin verran laskennallisen havaintosarjan hajontaa. Kalibroin-  
timalleihin sisältyy paikan vaikutus (ruutujen mahdollinen ero), joten todellisten  
havaintojen ja laskennallisten arvojen ero on mahdollisia virheitä lukuunottamat-  
ta kokonaan toimenpiteestä johtuvaa.

Koejärjestelyt aineiston käsittelymenetelmän puolesta olisi voitu toteuttaa  
sitien, että kutakin viljelykäsittelyä olisi ollut vain yhdellä koeruudulla. Koekentän  
toimintaan liittyvien riskien vuoksi pääosaa viljelykäsittelyistä toteutettiin kui-  
tenkin kahdella ruudulla. Näiden ruutujen (kerranteet) välistä vaihtelua tutkittiin  
erikseen vertaamalla perusjakson ja koejaksojen aineistoja.

Myös kerranteiden tarkastelu perustuu prosessin outputin riippuvuuteen  
maasta ja käsittelystä. Vaikka kerranteilla perusjakson käsittely muuttuikin koe-  
jakson käsittelyksi, ei niillä keskenään tapahdu muutosta. Tästä seuraa, että koe-  
jaksojen havaintojen pitää asettua samalle regressiosuoralle, mikä kerrannepareil-  
le on laskettavissa perusjakson havainnoista. Tässä tarkastelussa poikkeavat ha-  
vainnot saadaan esille ja niiden vaikutusta lopullisiin tuloksiin voidaan arvioida.

Kalibrointimallien selittämättömän vaihtelun ja kerranteiden välisen vaihte-  
lun perusteella voidaan arvioida tulosten luotettavuutta. Kukin havaintosarja si-  
sältää paljon ajallista vaihtelua. Pienimmillään arvot lähestyvät nolaa (regressio-  
mallit kulkevat origon kautta). Tämän vuoksi pienet pitoisuudet eivät juurikaan  
poikkea toisistaan eri käsittelyissä tai ruuduilla (esim. kiintoainepitoisuus maan  
ollessa roudassa). Käytännössä tämä merkitsee sitä, että käsittelyjen välillä ei ajoit-  
tan ole lainkaan eroja, vaikka käsittelyt poikkeaisivat kokonaiskuormituksessa  
oleellisesti toisistaan.

# 4

## Perusjakson kalibrointimallit

Kun lumen vesimäärä, lumen sulannan intensiteetti ja sadanta aiheuttavat muokkauskerroksen valuntaa Aurajoen koekentällä, sitä tapahtuu pääasiassa syksyllä ja keväällä. Myös talviaikainen lumen sulaminen on merkittävä tekijä valunnan aiheuttajana. Haihdunta ei em. valuntatilanteissa ole merkittävä tekijä, eikä siten pienennä valuntaa.

Kun valunta alkoi perusjakson syksyllä sitä jatkui epäsäännöllisesti kevääseen saakka päivästä kahteen viikkoon kestävinä valuntajaksoina. Kasvukaudella ei muokkauskerroksessa valuntaa esiintynyt lainkaan. Valunta mitattiin kahdesti viikossa kunkin havaintojakson kokonaisvaluntana. Valunnan intensiteettiä ja sen vaihtelua ei mitattu.

Kalibrointimallit laskettiin perusjakson aineistosta sekä valunnalle että valunnan pitoisuuksille. Mallit kuvaavat tässä pelkästään koeruutujen suhdetta perusruutuihin. Vertailtavien kombinaatioiden runsauden vuoksi malleja on runsaasti. Malleja laskettaessa oleellisen tärkeää on se, että havaintosarjat ovat samanaikaisia.

Puuttuvat havaintosarjan havainnot aiheuttavat virheen perusjakson kumulatiiviseen valuntaan tai keskimääräiseen pitoisuuteen, mutta eivät estä mallien laskemista havaintosarjan virheettömästä osasta. Jos huomattava osa havaintosarjan havainnoista puuttuu tai ne ovat virheellisiä, ei sitä voida käyttää mallien laskemiseen.

Kalibrointimallien käyttökelpoisuuteen vaikuttavat niiden selitysasteet ja vakiotermin arvot. Malleilta edellytään lähtökohtaisesti hyvin korkeaa selitysasetta ( $r^2$ ). Toisaalta mallien vakiotermin tulee olla mahdollisimman pieni eli regressiosuorien pitäisi kulkea origon kautta tai sen läheltä. Ruutuparien valuntaa kuvaavassa kalibrointimallissa vakiotermin arvo voisi olla enintään niin suuri kuin eri ruutujen muokkaus- ja jankkokerroksen infiltraatio tms. ominaisuuksista johtuva muokkauskerroksen valuntojen ero. Pitoisuuksien kohdalla tilanne on samanlainen. Jos yhdellä ruudulla valunnan pitoisuus on matala, täytyy sen muillakin ruuduilla olla matala.

Havaintosarjojen ajallinen vaihtelu vaikuttaa kalibrointimallien muodostamiseen. Jos vaihtelu on pieni, se heikentää niiden selitysasetta ja helposti suurentaa vakiotermiä ja kalibrointimalleista tulee heikkoja. Kalibrointimallien käyttö on myös arveluttavaa, jos koejaksoilla havaintosarjojen arvot menevät huomattavasti perusjakson havaintosarjan ääriarvojen ulkopuolelle.

Perusjakson kalibrointimallien tavoitteista johtuen valuntaa ja pitoisuuksia käsitellään tässä koeruuduittain. Valunnan edustavuutta tarkastellaan yksityiskohdaisemmin kohdassa 5.1.3 yhdessä koejaksojen valuntojen kanssa vertaamalla niitä yleisiin hydrologisiin taustatekijöihinsä. Samassa yhteydessä tarkastellaan valuntojen poikkeamien merkitystä ja salaojavalunnan osuutta koekentän kokonaisvalunnasta. Pitoisuuksien hetkellisiä poikkeamia käsitellään luvussa 5 ao. pitoisuutta käsittelevässä osassa.

## 4.1 Muokkauskerroksen valunta

Perusjaksolla (89-90) valuntojen kokonaismäärät joillakin koeruuduista poikkesivat huomattavasti koko alueen keskimääräisestä valunnasta (kuva 15). Perusruuduilla (3 ja 10) valuntojen keskiarvo oli 163 mm ja seitsemällä valunnoiltaan tasaisimmalla ruudulla keskiarvo oli 161 mm (taulukko 7). Valunnoiltaan kolmen pienimmän koeruudun (4, 5 ja 9) keskiarvo oli vain 54 mm. Tämä on huomattavasti pienempi kuin koko koekentän keskimääräinen valunta (koeruudut ja suojaruudut), joka oli 119 mm. Sadantaan nähden koekentältä olisi pitänyt perusjaksolla tulla enemmän valuntaa (vrt. 5.1.3). Tämä saattoi johtua keräinten asennuksen jälkeisestä vajaatoiminnasta. Myös suojaruuduilta mitatun valunnan määrä oli pääsääntöisesti pienempi kuin koeruuduilta. Kun suojaruutujen valunta koottiin ensin matalaan avo-ojaan ja siitä edelleen kaivon kautta havaintokoppiin, on valuntaa voinut infiltroitua avo-ojassa maaperään enemmän kuin koeruuduilla.

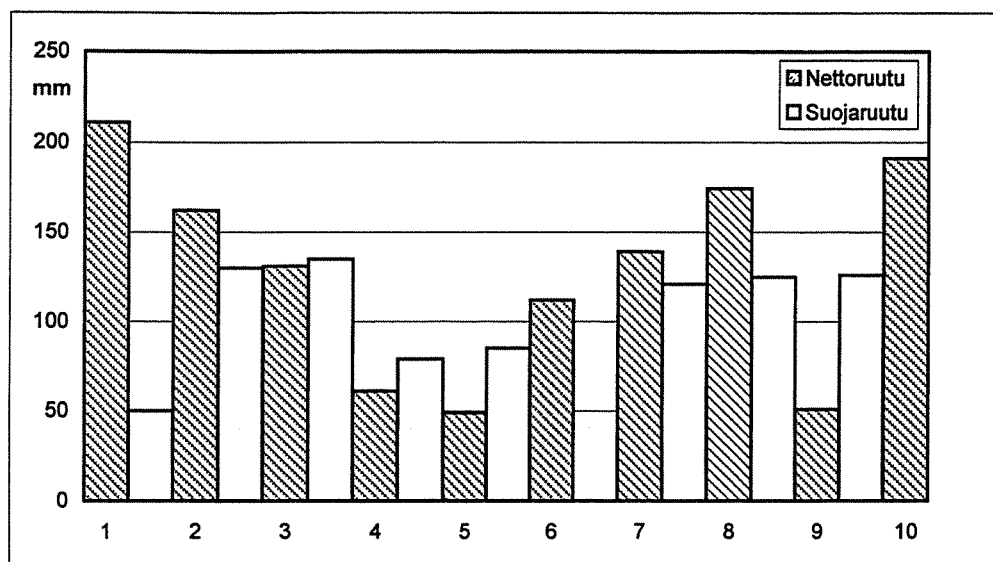
Ruuduilla 4, 5 ja 9 muokkauskerroksen valunta alkoi hitaasti. Syksyllä sitä ei tullut mittaukseen ja talvikaudella se oli selvästi muiden ruutujen valuntaa pienempi. Ruudulla 6 valunta alkoi vasta helmikuussa (1990) ja jatkui sen jälkeen runsaana kevääseen saakka. Jakson alussa puuttuneen valunnan vuoksi se jäi kokonaismäärältään 112 mm:iin. Kaikilla muilla ruuduilla valunnan suhteellinen jakauma oli keskenään samanlainen.

Muokkauskerroksen valunta syksyllä oli kaikilla koeruuduilla alle 5 % koko kalibrintijakson valunnasta (taulukko 7). Talvikausi oli poikkeuksellisen leuto ja valunta oli runsasta lumen sulaessa joulukuun lopulta helmikuun loppuun käsittävällä jaksolla. Ruutujen keskimääräinen valunta oli talvella 114 mm eli n. 70 % koko perusjakson valunnasta. Kevätkauden valunnat jäivät leudosta talvesta johtuen tavanomaista pienemmiksi. Muokkauskerroksen valunta oli kevätkaudella keskimäärin neljäsosa koko perusjakson valunnasta.

Muokkauskerroksen ylemmän tason (0-10 cm) valunnan osuus lisääntyi syksystä kevääseen. Talvella ja keväällä lumen sulaessa maa oli kyllästyneessä tilassa, jolloin välitön pintavalunta oli runsasta. Näissä oloissa myös valuntojen kokonaismäärät olivat runsaita.

Taulukko 7. Muokkauskerroksen (0-30 cm) valunta (q mm), kausivalunnan osuus ( $q_{an}$  %) perusjakson valunnasta ja ylimmän pintakerroksen valunnan (0-10 cm) osuus ( $q_{0-10}$  %) muokkauskerroksen valunnasta eri vuodenaikoina (<sup>1</sup>perusruudut, <sup>2</sup>ei ka:ssa).

Ruutu	Syksy 1.9-20.12			Talvi 21.12-28.2			Kevät 1.3-10.5			Koko jakso	
	q mm	$q_{an}$ %	$q_{0-10}$ %	q mm	$q_{an}$ %	$q_{0-10}$ %	q mm	$q_{an}$ %	$q_{0-10}$ %	q mm	$q_{0-10}$ %
1	9	4	0	152	72	21	50	24	32	211	23
2	7	4	14	119	74	15	36	22	14	162	15
3 <sup>1</sup>	5	4	0	96	73	5	30	23	12	131	7
4 <sup>2</sup>	-	-	-	39	64	-	22	36	-	61	-
5 <sup>2</sup>	-	-	-	31	63	7	18	37	12	49	9
6	-	-	-	68	61	45	44	39	60	112	51
7	2	1	22	100	72	58	37	27	67	139	60
8	3	2	19	126	72	45	45	26	51	174	46
9 <sup>2</sup>	1	2	0	36	71	72	14	27	91	51	78
10 <sup>1</sup>	5	3	42	138	71	64	52	26	51	195	66
Keskimäärin											
Kaikki	5	3	16	114	71	36	42	26	41	161	38
Perusruudut	5	4	21	117	72	35	41	25	32	163	37



Kuva 15. Koeruutujen ja suojaruutujen valunnat perusjaksolla (vrt. kuva 12 s. 30).

Valunta jakaantui muokkauskerroksessa eri tavalla koekentän eri osissa. Ruuduilla 1 ja 2 ylemmän kerroksen valunnan osuus oli keskimäärin 19 % ja ruuduilla 6-10 keskimäärin 60 % koko muokkauskerroksen valunnasta (taulukko 7). Tämä saattaa johtua savespitoisuuden vaihtelusta kentän eri osissa.

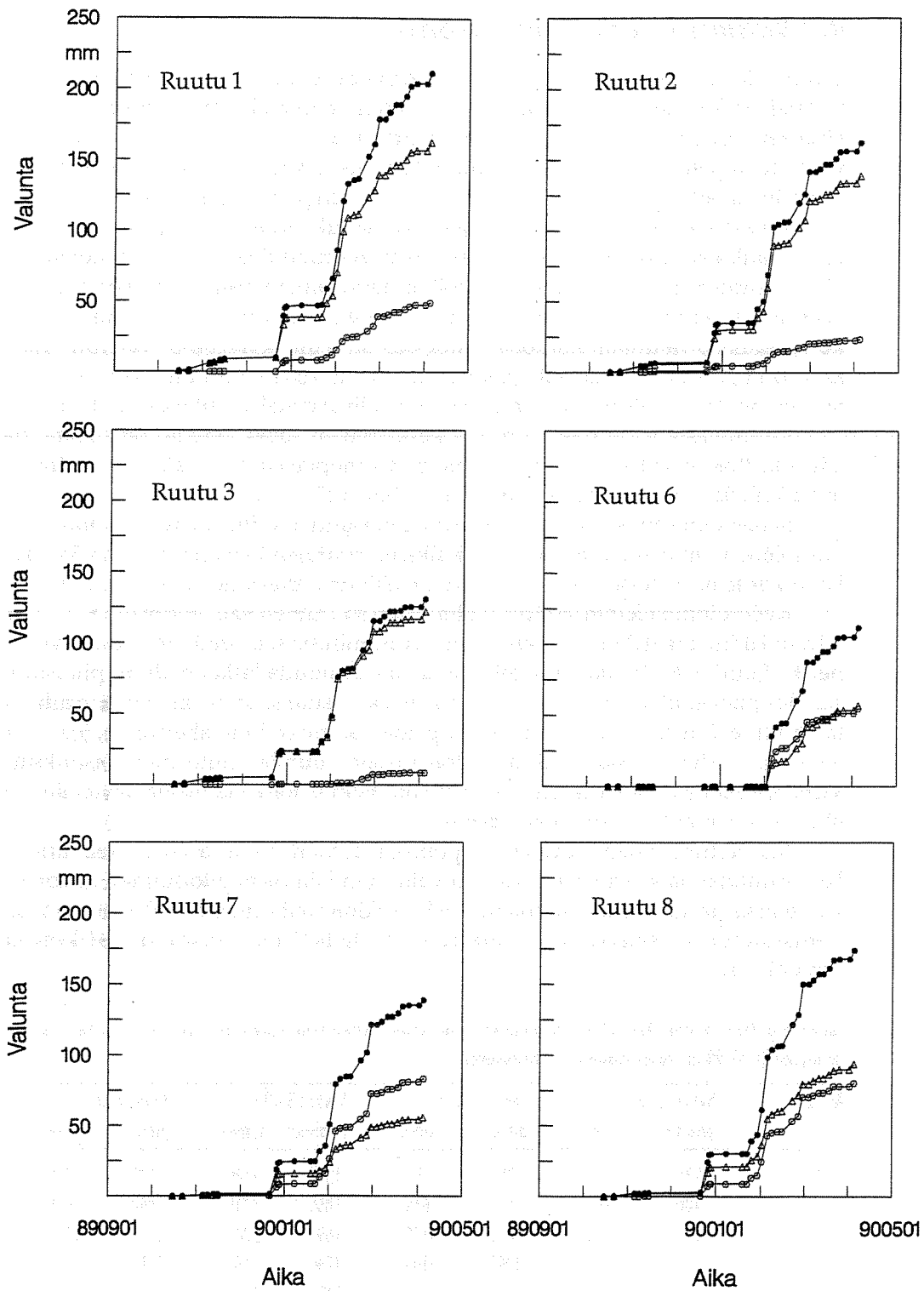
Koeruuduille 4 ja 5 ei kalibroitalleja laskettu ruutujen havaintosarjan virheellisyyden vuoksi ja siten ne jäivät tämän tarkastelun ulkopuolelle. Koeruudulle 9 kalibrointimalli laskettiin koejakson 90-91 valunnoista, jolloin ruudulla oli vielä sama käsittely (syysvehnä) kuin perusruuduilla ja valunta oli vakiintunut perusruutujen tasolle. Koeruudulla 6 hetkellisten havaintojen määrä jäi muita pienemmäksi syksyn ja talven puuttuvan valunnan vuoksi.

Perusruuduilla 3 ja 10 valuntojen ero oli 64 mm, kun myöhemmin koejaksoilla se oli keskimäärin 34 mm (vrt. 5.1.1). Perusjaksolla ruudulta 3 muokkauskerroksen ylemmästä kerroksesta 16.10.1989-15.2.1990 välisenä aikana mitattiin valuntaa ainoastaan 1 mm, kun muilla ruuduilla ylemmän kerroksen valunta oli hyvin runsasta, keskimäärin 35 mm. Tämän vuoksi ruudun 3 ylemmän kerroksen valuntaa täydennettiin em. ajanjaksolla 34 mm:llä. Valunnan jakaumana käytettiin koeruudun 11 valunnan jakaumaa. Tämä koeruutu ei ole tässä tutkimuksessa mukana, joten menettely ei aiheuta informaation siirtymistä tutkittavalta ruudulta toiselle. Täydennetystä valuntasarjasta laskettiin myös kalibrointimallit.

Vertailuissa käytettiin tätä korjattua yhtälöä, koska valunnan vaje perusjaksolla lisäisi kalibrointiallilla (suurempi kulmakerroin) laskettuja valuntoja ja pienentäisi vertailtavien käsittelyjen suhteellisia valuntoja 10-20 %-yksikköä.

Kalibrointimallien selitysasteet ( $r^2$ ) poikkeavat arvosta 1,0 suhteellisen vähän (liite 2). Valuntojen kokonaisvaihtelusta 1-6 % jäi selittämättä perusruutujen valunnan vaihtelulla. Tämä perusjakson malleihin sisältyvä epävarmuus siirtyy koejaksojen laskennallisiin valuntoihin ja vähentää niiden luotettavuutta.





- koko muokkauskerros     $\Delta$  alempi kerros     $\circ$  ylempi kerros

Kuva 16. Muokkauskerroksen ylempään (0-10 cm) ja alemman kerroksen (10-30 cm) sekä koko muokkauskerroksen kumulatiivinen valunta perusjaksolla 89-90.

## 4.2 Valunnan kiintoainepitoisuus

Valunnalla painotetut keskimääräiset kiintoainepitoisuudet vaihtelivat koeruuduilla välillä 900-1 700 mg l<sup>-1</sup> (taulukko 8). Kahdensadan millimetrin vuosivalunnalla tästä seuraisi 1 800-3 400 kg:n eroosio hehtaarilta. Ajallisesti pitoisuudet vaihtelivat erittäin paljon (kuva 17). Korkeimmillaan ne olivat keväällä roudan sulaessa. Korkein havaittu pitoisuus oli 6 000 mg l<sup>-1</sup> ja pienin pitoisuus 100 mg l<sup>-1</sup>.

Valuntapainotteisten keskiarvojen erot taulukossa 8 johtuvat osittain valunnan vajauksesta. Korkeimmat keskiarvot ovat koeruuduilla 5 ja 6, joilta molemmilta jäi puuttumaan valuntaa aikana, jolloin kiintoainepitoisuus oli matala. Perusrudulla 10 kiintoainepitoisuus oli säännönmukaisesti muita korkeampi. Myös koeruudulla 5 valunnan kiintoainepitoisuus oli muita korkeampi. Koeruudulla 6 kiintoainepitoisuus oli talvella ja keväällä samaa tasoa kuin muillakin ruuduilla. Syksyn puuttuva valunta, jolloin pitoisuudet olivat matalia, vaikuttaa keskiarvoon.

Puuttuvasta valunnasta johtuen keskiarvojen suora vertailu on rajoitettua. Tätä oleellisempaa havaintosarjassa on kiintoainepitoisuuksien ajallinen vaihtelu, mikä kaikilla koeruuduilla on samanlaista (kuva 17).

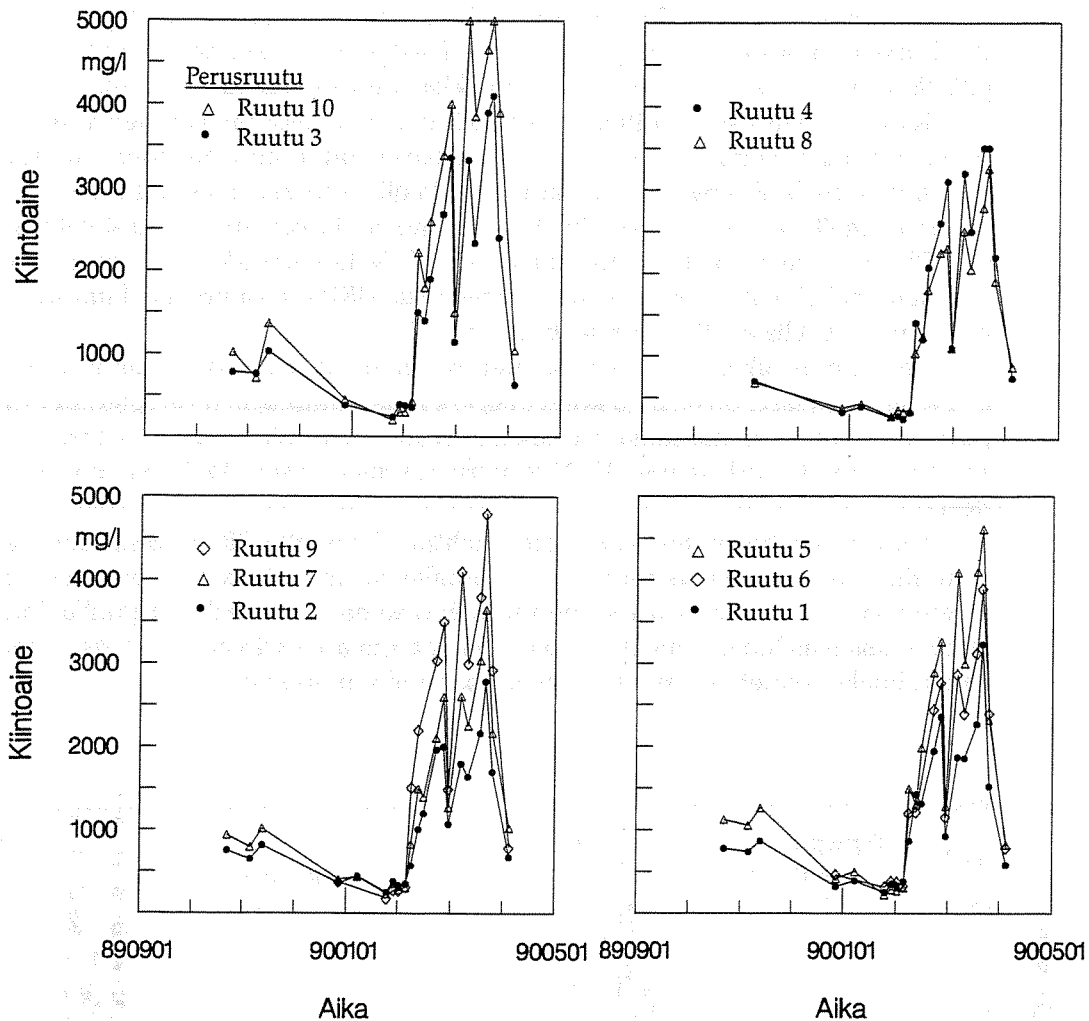
Sameuden vaihtelu seuraa kiintoainepitoisuuden vaihtelua ja on suoraan verrannollinen kiintoainepitoisuuteen. Kaikkien ruutujen havainnoista (n=552) laskettu kiintoainepitoisuuden ja sameuden välinen korrelaatio oli 0,967 (kts. 6.1.3).

Kalibrointimalleihin sisältyy vaihtelevan suuruinen vakiotermin (liite 2). Tämä johtuu lähinnä matalien pitoisuuksien puuttumisesta sekä mittaus- ja analyysivirheistä. Suuri vakiotermin arvo aiheuttaa epävarmuutta laskennallisiin pitoisuuksiin. Jos pitoisuudet koejaksoilla ovat pieniä, korostuu suuren vakiotermin aiheuttama virhe. Suuri vakiotermin mallissa pienentää myös kulmakerrointa, joka taas aiheuttaa virhettä laskennallisiin pitoisuuksiin suurilla kiintoainepitoisuuksilla. Virhe jää pieneksi, jos vakiotermin arvo on pieni ja toisaalta mallia käytetään kalibrointiaineineiston ääriarvojen rajoissa.

Kalibrointimallien selitysasteet poikkeavat vain vähän arvosta yksi (liite 2). Perusruidujen ja koeruidujen välisen valunnan kiintoainepitoisuuden kokonaisvaihtelusta jää malleilla selittämättä 2-9 %. Vakiotermit vaihtelevat 0 %:sta 16 %:iin perusruidun 3 keskiarvopitoisuudesta ja 6 %:sta 14 %:iin perusruidun 10 keskiarvopitoisuudesta.

Taulukko 8. Muokkauskerroksen (0-30 cm) valunnan valuntapainotteinen kiintoainepitoisuus (ka mg l<sup>-1</sup>) ja sameus (FTU) perusjaksolla 89-90 eri vuodenaikoina (<sup>1)</sup>perusruidut).

Ruutu	Syksy 1.9-20.12		Talvi 21.12-28.2		Kevät 1.3-10.5		Koko jakso	
	pitoisuus	sameus	pitoisuus	sameus	pitoisuus	sameus	pitoisuus	sameus
1	775	710	785	785	1570	1760	1005	1060
2	700	700	690	675	1455	1745	890	955
3 <sup>1)</sup>	795	795	1035	1165	1695	2005	1205	1380
4	-	-	1005	1145	1780	2150	1280	1505
5	-	-	1435	1600	2100	2420	1695	1920
6	-	-	1195	1255	1890	2170	1470	1620
7	880	665	755	745	1860	2080	1095	1150
8	485	465	805	807	1685	1885	1065	1125
9	-	-	1020	1120	2185	2638	1365	1575
10 <sup>1)</sup>	805	785	1205	1265	2825	3290	1695	1880
Keskimäärin								
Kaikki	740	685	995	1055	1905	2215	1275	1415
Perusruidut	800	790	1120	1215	2260	2650	1450	1630



Kuva 17. Muokkauskerroksen valunnan kiintoainepitoisuus perusjaksolla 89-90.

### 4.3 Valunnan fosforipitoisuus

Valunnalla painotetut keskimääräiset partikkelifosforipitoisuudet vaihtelivat koeruuduilla 1,7 mg:sta runsaaseen 3 mg:aan litrassa (taulukko 9). Kahdensadan millimetrin vuosivalunnalla tästä seuraisi 3,4-6 kg partikkelimaisen fosforin huuhtoutuminen. Ajallisesti pitoisuudet vaihtelivat erittäin paljon. Korkein havaittu pitoisuus 10,7 mg l<sup>-1</sup> ajoittui kevääseen (kuva 18) ja pienin pitoisuus 0,2 mg l<sup>-1</sup> talveen.

Partikkelifosforin pitoisuudet ovat sidoksissa kiintoainepitoisuuteen. Niiden välinen korrelaatio oli kaikista kenttäkokeen havainnoista (n=640) 0,934 (kts. 6.1.3). Jos kiintoainepitoisuudessa oli koeruuduilla eroja, tästä aiheutui samanlainen ero partikkelifosforin pitoisuuteen.

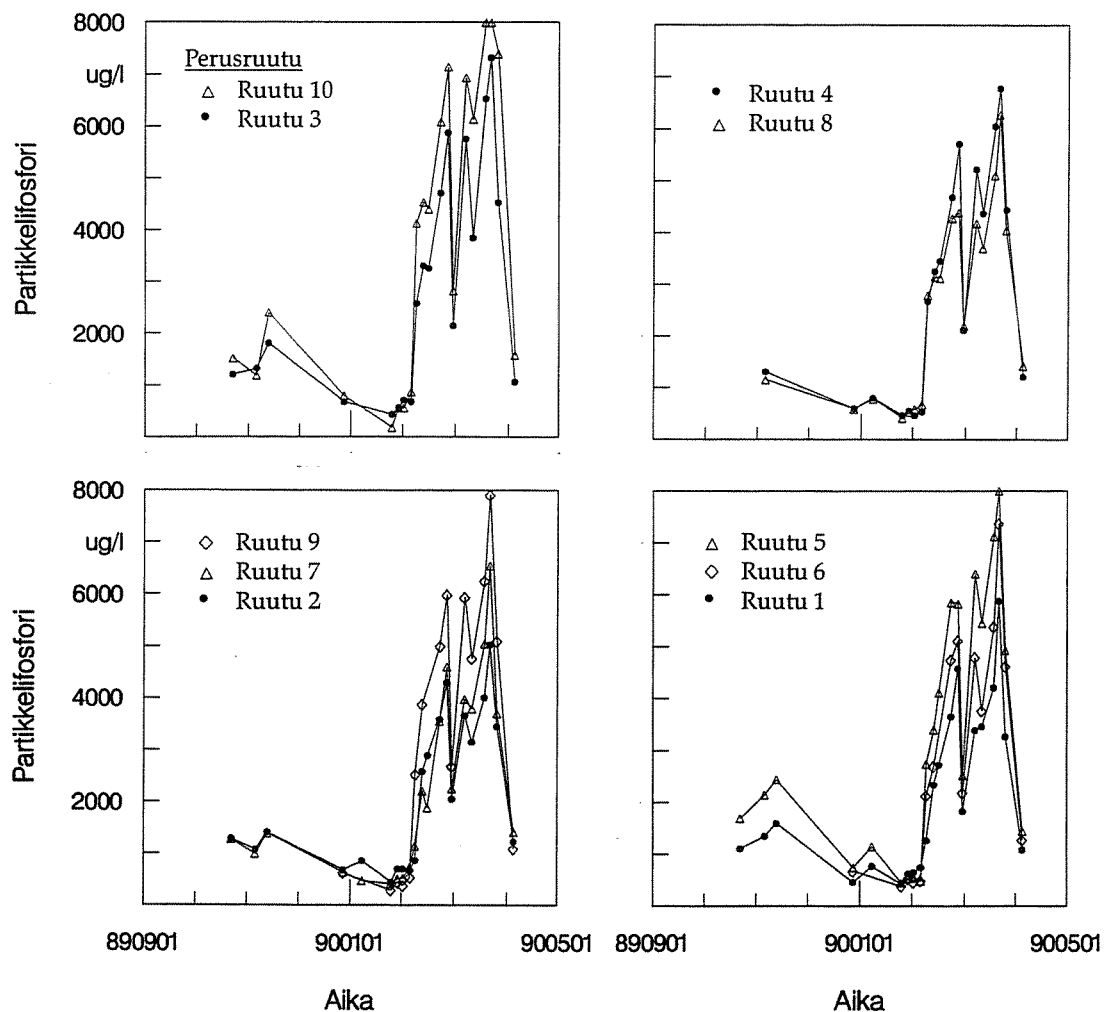
Keskimääräinen DRP-pitoisuus (*dissolved reactive phosphorus*) vaihteli koeruuduilla 0,34-0,47 mg l<sup>-1</sup> (taulukko 9). Kahdensadan millimetrin valunnalla tästä seuraisi vuositasolla 0,68-0,94 kg:n liukoisen fosforin huuhtoutuminen. DRP-pitoisuuden ajallinen vaihtelu ei ollut yhtä voimakasta kuin kiintoaineksen ja partikkeli-

fosforin vaihtelu. Korkein DRP-pitoisuus oli  $0,73 \text{ mg l}^{-1}$  ja matalin  $0,20 \text{ mg l}^{-1}$  (kuva 19). Korkeat pitoisuudet olivat satunnaisia. DRP-pitoisuudelle oli kuitenkin tyyppillistä se, että ruutujen pitoisuuskäyrät leikkasivat toisensa vain satunnaisesti.

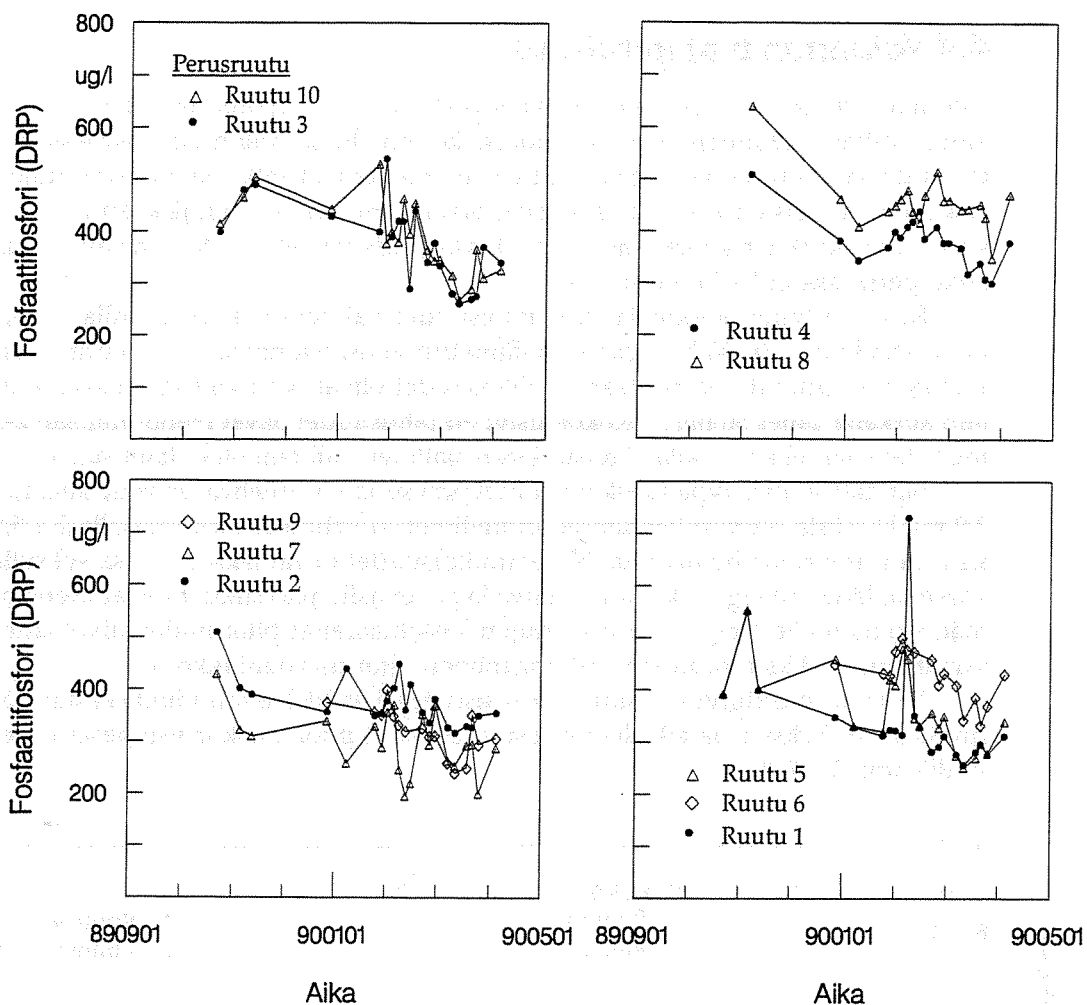
Kun kokonaisfosforin pitoisuus vaihteli paljon ja DRP-pitoisuuden vaihtelu pysyi pienenä, aiheutui tästä DRP:n suhteellisen osuuden suuri ajallinen vaihtelu. Pienimmillään DRP:n osuus kokonaisfosforista oli perusjakson keväällä alle 10 % ja korkeimmillaan syksyllä noin 25-30 % (taulukko 9). Perusjakson keskimääräinen DRP:n osuus vaihteli eri ruuduilla 11-19 %. Mitä voimakkaampi eroosio oli, sitä pienempi oli DRP:n osuus kokonaisfosforista. DRP-pitoisuuden ja kiintoainepitoisuuden välillä ei ollut korrelaatiota (kts. 6.1.3).

Kalibrointimallien ( $P_{\text{part}}$ ) selityssasteet ovat korkeita kaikissa vertailuissa (liite 2). Pienin selityssaste on 0,920 ja korkein 0,989. Kalibrointimallien vakiotermit ovat pääosin pieniä eli mallit kulkevat lähellä origoa. Ruuduilla 2 ja 8 vakiotermin arvot ovat muita korkeampia, 18-21 % perusruutujen keskimääräisestä pitoisuudesta.

Perusjakson havaintojen perusteella tehtiin oletus, että DRP-pitoisuudet ovat ruuduille ominaisia ja tasoerot pysyviä. Toisaalta mallien tulisi kulkea origon kautta, esim. kun maa on vielä jässä, pitoisuudet ovat matalat kaikilla ruuduilla. Kun pitoisuuksien ajallinen vaihtelu oli pieni vakiotermi asetettiin nollassi. Tässä mallien kulmakertoimet osoittavat ruutujen mahdollisen tasoeron.



Kuva 18. Muokkauskerroksen valunnan partikkelifosforipitoisuus perusjaksolla 89-90.



Kuva 19. Muokkauskerroksen valunnan DRP-pitoisuus perusjaksolla 89-90.

Taulukko 9. Muokkauskerroksen (0-30 cm) valunnan valuntapainotteinen partikkelifosforin ( $P_{part}$ ) ja liukoisen fosforin (DRP) pitoisuus  $mg\ l^{-1}$  sekä DRP:n osuus kokonaisfosforista ( $DRP_{\%}$ ) perusjaksolla 89-90 eri vuodenaikoina (<sup>1)</sup>perusruudut).

Ruutu	Syksy 1.9-20.12			Talvi 21.12-28.2			Kevät 1.3-10.5			Koko jakso		
	$P_{part}$	DRP	DRP <sub>%</sub>	$P_{part}$	DRP	DRP <sub>%</sub>	$P_{part}$	DRP	DRP <sub>%</sub>	$P_{part}$	DRP	DRP <sub>%</sub>
1	1,39	0,50	26,5	1,44	0,36	19,8	2,95	0,30	9,1	1,87	0,34	15,6
2	1,17	0,41	25,9	1,33	0,38	22,1	2,74	0,36	11,5	1,69	0,37	18,1
3 <sup>1)</sup>	1,36	0,47	25,6	1,85	0,40	17,8	3,01	0,32	9,5	2,15	0,38	15,0
4	-	-	-	1,84	0,40	18,0	3,28	0,36	9,9	2,35	0,39	14,2
5	-	-	-	2,79	0,40	12,5	3,83	0,32	7,8	3,19	0,37	10,4
6	-	-	-	2,20	0,48	17,8	3,37	0,40	10,7	2,67	0,45	14,4
7	1,14	0,32	21,9	1,35	0,34	20,2	3,18	0,33	9,3	1,91	0,34	15,0
8	0,83	0,46	35,6	1,57	0,47	23,1	3,17	0,45	12,5	2,04	0,47	18,6
9	-	-	-	1,68	0,35	17,3	3,65	0,30	7,6	2,27	0,33	12,8
10 <sup>1)</sup>	1,33	0,46	25,7	2,22	0,40	15,3	4,83	0,33	6,4	3,00	0,38	11,3
Keskimäärin												
Kaikki	1,20	0,44	26,9	1,83	0,40	18,4	3,40	0,35	9,4	2,31	0,38	14,5
Perusruudut	1,35	0,47	25,7	2,04	0,40	16,6	3,92	0,33	8,0	2,58	0,38	13,2

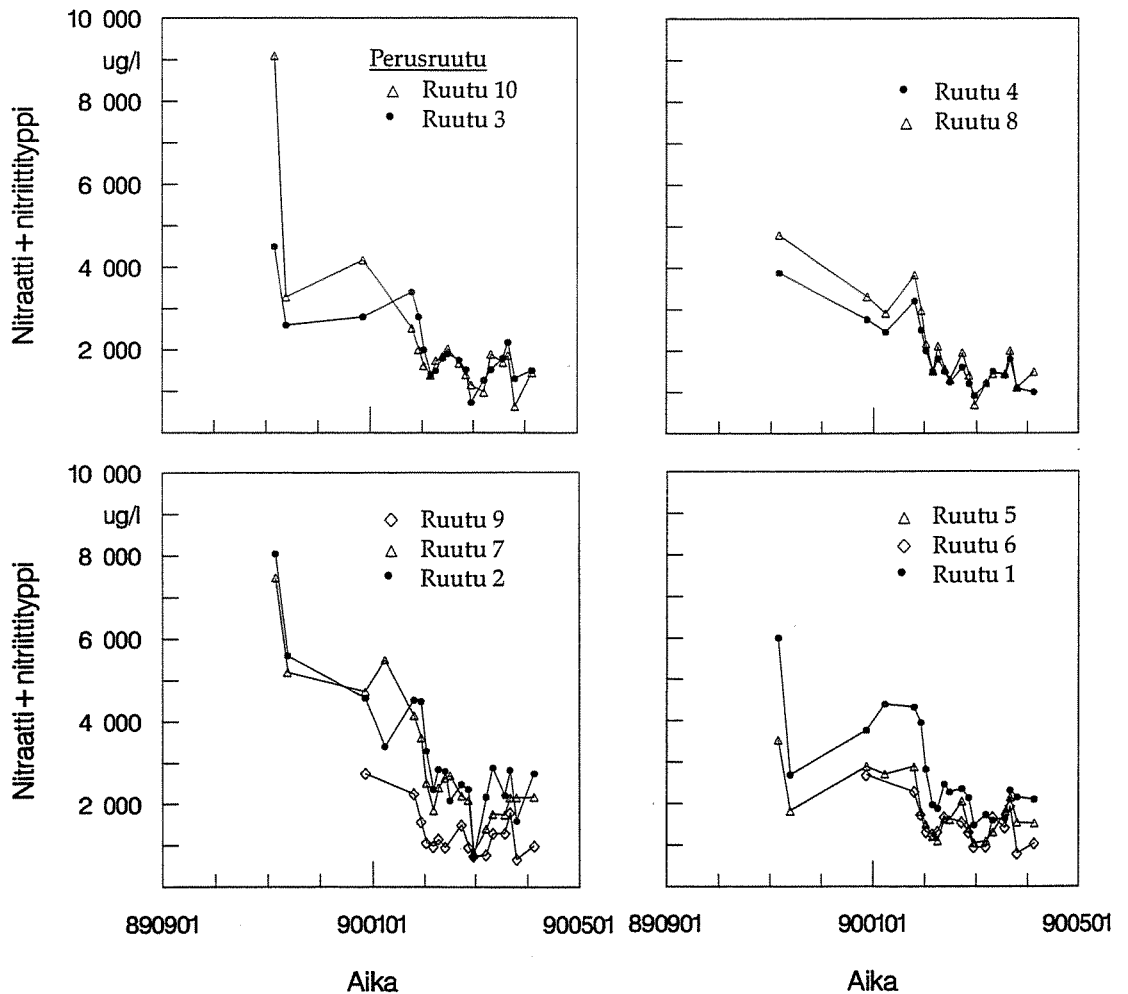
## 4.4 Valunnan typpipitoisuus

Valunnan typpipitoisuudet vaihtelivat perusjakson alussa eri ruuduilla paljon. Tämä johtui osittain valunnan epätasaisuudesta jakson alussa. Valunnan kasvaessa pitoisuudet tasaantuivat ja ruutujen väliset erot pienenivät, mikä näkyy eri ruutujen valuntapainotteisten keskipitoisuuksien tasaantumisenä syksyn jälkeen (taulukko 10). Pitoisuuksien suuret hajonnat syksyllä ja alkutalvella kuitenkin vaikuttivat koko perusjakson keskipitoisuuksiin.

Kokonaistypen keskimääräiset pitoisuudet vaihtelivat koeruuduilla 3,2-5,2 mg l<sup>-1</sup> (taulukko 10). Kahdensadan millimetrin vuosivalunnalla tästä seuraisi 6,4-10,4 kg:n huuhtoutuma hehtaarilta. Pitoisuudet olivat perusjakson syksyllä erittäin korkeita, lähes 30 mg l<sup>-1</sup>. Kokonaistypen pitoisuudet olivat pienimmillään 2-3 mg l<sup>-1</sup> talvella sekä keväällä. Pitoisuuksien ajallinen vaihtelu oli erittäin suuri.

Nitraatti-nitriittitypen keskimääräiset pitoisuudet vaihtelivat eri ruuduilla 1,2-2,9 mg l<sup>-1</sup>. Tästä seuraisi kahdensadan millimetrin valunnalla vuositasolla 2,4-5,8 kg:n huuhtoutuma hehtaarilta. Nitraattipitoisuudet olivat jakson alussa syksyllä korkeita, lähes 10 mg l<sup>-1</sup> (kuva 20). Talvella ja keväällä pitoisuudet olivat pienemmät, ajoittain alle 1 mg l<sup>-1</sup>. Perusruutujen keskimääräiset pitoisuudet olivat lähes samat kuin kaikkien ruutujen keskimääräinen pitoisuus (taulukko 10).

Nitraatti-nitriittitypen osuus kokonaistypestä vaihteli eri ruuduilla keskimäärin 33-55 %. Syksyllä ja talvella sen osuus oli noin puolet kokonaistypestä ja keväällä noin 25-30 %.



Kuva 20. Muokkauskerroksen valunnan nitraatti-nitriittityppipitoisuus perusjaksolla 89-90 eri koeruuduilla.

Taulukko 10. Muokkauskerroksen (0-30) valunnan valuntapainotteinen kokonaistypen ( $N_{tot}$ ) ja nitraatti-nitriittitypen ( $NO_3-N$ ) pitoisuus  $mg\ l^{-1}$  ja nitraatti-nitriitin osuus ( $NO_3\ %$ ) kokonaistypestä perusjaksolla 89-90 eri vuodenaikoina (<sup>1</sup>)perusruudut).

Ruutu	Syksy 1.9-20.12			Talvi 21.12-28.2			Kevät 1.3-10.5			Koko jakso		
	$N_{tot}$	$NO_3-N$	$NO_3\ %$	$N_{tot}$	$NO_3-N$	$NO_3\ %$	$N_{tot}$	$NO_3-N$	$NO_3\ %$	$N_{tot}$	$NO_3-N$	$NO_3\ %$
1	12,05	4,67	38,7	4,61	2,62	56,9	5,12	1,77	34,6	5,04	2,46	48,8
2	10,27	6,89	67,1	5,13	3,05	59,5	4,66	1,79	38,4	5,21	2,87	55,2
3 <sup>1)</sup>	14,71	3,61	24,5	3,61	1,86	51,4	4,20	1,15	27,4	4,17	1,73	41,5
4	-	-	-	3,46	1,69	48,7	4,14	1,15	27,9	3,70	1,50	40,4
5	-	-	-	4,86	1,71	35,1	4,64	1,34	28,9	4,82	1,56	32,6
6	-	-	-	3,61	1,35	37,4	3,89	1,20	30,9	3,72	1,29	34,7
7	8,23	6,40	77,5	4,32	2,56	59,1	4,39	1,35	30,8	4,39	2,28	50,7
8	5,57	3,42	61,5	4,12	2,06	50,0	4,04	1,15	28,4	4,12	1,80	43,8
9	-	-	-	2,73	1,27	46,7	4,27	0,97	22,6	3,17	1,16	36,7
10 <sup>1)</sup>	11,13	7,26	65,2	3,89	1,76	45,3	5,58	1,38	24,8	4,62	1,80	39,0
Keskimäärin												
Kaikki	10,33	5,38	55,7	4,03	1,99	49,0	4,49	1,33	29,5	4,30	1,85	42,3
Perusruudut	12,92	5,44	44,9	3,75	1,81	48,4	4,89	1,27	26,1	4,40	1,77	40,3

Typen kalibrointimalleihin sisältyy hajonnoista johtuen suurta epävarmuutta. Perusjakson havainnoista lasketuissa malleissa vakiotermin arvo poikkeuksetta kasvoi suureksi suhteessa pitoisuuksien keskiarvoon. Suuri vakiotermin arvo taas muuttaa vastaavasti kulmakerrointa. Koska teoriassa vakiotermin pitää olla nolla, pienillä ja suurilla pitoisuusarvoilla malli laskisi huomattavan virheellisen laskennallisen pitoisuuden.

Tästä syystä kalibrointimallien vakiotermit asetettiin nollassa. On mahdollista, että typen kierto olisi ollut eri koeruuduilla hiukan eri vaiheissa ja pitoisuuksien vaihtelu myös ajallisesti erilaista. Tämä saattaisi selittää joitakin yksittäisiä poikkeavia havaintoja. Keskimäärin havainnot suuresta hajonnasta huolimatta muodostavat hyvin samanlaisen kausivaihtelun ja oletus regressiosuoran kulkemisesta origon kautta on siten perusteltu (liite 2).

# 5

## Viljelykäsittelyjen vaikutukset koejaksoilla

Valuntaan vaikuttavia maanpinnan ja muokkauskerroksen ominaisuuksia ovat mm. maan rakenne ja huokosten määrä, maanpinnan karkeus, korjuujätteiden ja kasvillisuuden määrä. Erilaiset viljely- ja muokkauskäsittelyt muuttavat juuri näitä ominaisuuksia. Siten käsittelyjen seurauksena maaprofiilin läpäisevyysominaisuudet voivat muuttua, veden virtausnopeus maan pinnalla voi muuttua tai jopa lumen sulaminen voi nopeutua tai hidastua. Muokkauskerroksen valunnassa eri viljelykäsittelyjen vaikutukset tulevat esille määrän muutoksina, valunnan ajallisen jakautuman muutoksina tai pinta- ja jankkerroksen valuntasuhteen muutoksina.

Eri vuosina käsittelyjen vaikutukset saattavat vaihdella. Esim. syysviljojen orastuminen ja oraan tiheys voivat olla hyvin erilaisia. Sänkipelloilla korjuujätteiden määrä saattaa pysyä suhteellisen samanlaisena vuodesta toiseen, mutta kesän sääolojen seurauksena maan halkeilu voi vaihdella huomattavasti, mikä vaikuttaa alkusyksyllä sekä valuntasuhteisiin että pitoisuuksiin. Maanmuokkaus taas kohdistuu voimakkaana maan pintakerrokseen ja se muuttaa muokattavan kerroksen tilaa ja maanpinnan karkeutta. Maan kosteudella muokkaustilanteessa voi olla suuri vaikutus lopputulokseen.

Kun kuormitus lopulta muodostuu valunnan määrästä ja veden mukana kulkeutuvien kuormittavien aineiden pitoisuuksista, näitä molempia tarkastellaan tässä luvussa erillisinä ilmiöinä. Tämä helpottaa arvioimaan eri käsittelyiden kuormituseroja ja sen ajoittumista erilaisiin hydrologisiin tilanteisiin.

### 5.1 Muokkauskerroksen valunta

Syysvehnällä muokkauskerroksen valunta oli keskimäärin 208 mm koejaksoa kohden (taulukko 11). Eri koejaksoilla valuntojen määrä oli perusruuduilla hyvin samanlainen kolmatta jaksoa (92-93) lukuun ottamatta, jolloin valunta jäi runsas 50 mm muita jaksoja pienemmäksi. Ensimmäisellä koejaksolla (90-91) syksyn valunta oli vähäistä ja toisesta koejaksosta lähtien tätä runsaampaa. Talvikauden valunta oli koko ajan poikkeuksellisen runsasta. Leutojen talvien vuoksi varsinaiset kevätkäytännöt jäivät pieniksi. Runsaista kevätkauden valuntoja esiintyi toisella koejaksolla. Talvi- ja kevätkauden valunnat olivat keskimäärin yhtäsuuret ja syysvalunnat tätä pienemmät.

Muokkauskerroksen ylemmän tason (0-10) valunnan osuus koko muokkauskerroksen valunnasta talvella oli huomattavasti suurempi kuin syksyllä. Myös keväällä runsaiden valuntojen aikana ylemmän kerroksen osuus oli merkittävä. Pintavaluntojen runsastuessa ne nopeasti noroutuvat, lähinnä keväisin lumen sulantavaiheessa. Syysvehnällä valunnasta tuli muokkauskerroksen ylemmästä pintakerroksesta keskimäärin 67 % (taulukko 11). Tämä onkin luonnollinen seuraus lyhyeksi jäävästä valuntajaksosta, jolloin pellot ovat kenttäkapasiteettissa tai täysin vedellä kyllästyneitä. Eri jaksot poikkesivat tässä suhteessa melko vähän toisistaan.



Taulukko 11. Muokkauskerroksen (0-30 cm) valunta (q mm), kausivalunnan osuus ( $q_{an}$  %) koejakson valunnasta ja ylimmän pintakerroksen valunnan (0-10 cm) osuus ( $q_{0-10}$  %) muokkauskerroksen valunnasta eri koejaksoilla ja vuoden aikoina syysvehnällä (peruskäsittely).

Koejakso	Perusruutu	Syksy 1.9-20.12			Talvi 21.12-28.2			Kevät 1.3-10.5			Koko jakso	
		q mm	$q_{an}$ %	$q_{0-10}$ %	q mm	$q_{an}$ %	$q_{0-10}$ %	q mm	$q_{an}$ %	$q_{0-10}$ %	q mm	$q_{0-10}$ %
<b>Koejakso 90-91</b>												
Syysvehnä	3	19	8	24	139	62	61	67	30	53	225	56
Syysvehnä	10	18	7	58	164	67	97	62	26	88	244	92
<i>Keskiarvo</i>		19	8	41	152	65	79	65	28	71	235	74
<b>Koejakso 91-92</b>												
Syysvehnä	3	54	25	17	68	32	68	92	43	57	214	50
Syysvehnä	10	66	26	34	86	33	96	105	41	59	257	65
<i>Keskiarvo</i>		60	26	26	77	33	82	99	42	58	236	58
<b>Koejakso 92-93</b>												
Syysvehnä	3	48	35	22	38	28	72	50	37	59	136	49
Syysvehnä	10	58	35	42	48	28	96	62	37	65	168	66
<i>Keskiarvo</i>		53	35	32	43	28	84	56	37	62	152	58
<b>Koejakso 93-94</b>												
Syysvehnä	3	71	38	71	55	29	92	62	33	55	188	72
Syysvehnä	10	82	36	80	52	23	95	94	41	74	228	81
<i>Keskiarvo</i>		77	37	76	54	26	94	78	37	65	208	77
Koejaksoiden keskiarvo		52	26	44	82	38	85	75	36	64	208	67

### 5.1.1 Valunta eri käsittelyissä

Käsittelyjen vaikutuksia valunnan määrään arvioitiin havaittujen ja laskennallisten valuntojen suhdelukuina (liite 4). Kahden perusruidun valunnoista laskettujen suhteellisten valuntojen ero on pieni, 0,01-0,1 yksikköä. Lyhyen aikavälin tarkastelussa poikkeamat kuitenkin kasvavat. Tämä johtuu valuntahavaintojen vähäisyydestä, jolloin pienikin virhe valunnan mittauksessa aiheuttaa laskennalliseen valuntaan voimakkaan suhteellisen muutoksen.

Käsittelyjen seurauksena koeruutujen valunnan jakaumat poikkesivat syysvehnän valunnan jakaumasta (liite 3). Rinteen suuntainen kyntö näyttäisi lisäävän syyskauden valunnan osuutta ja vähentävän talvikauden valunnan osuutta syysvehnään nähden. Sängessä ja sänkimuokkauksessa syysvalunnan osuus näyttäisi olevan suurempi, talvivalunnan osuus pienempi ja kevätvalunnan osuus taas suurempi kuin syysvehnällä. Poikittaisessa kynnössä syksyn ja talven valuntojen osuus on pienempi ja kevätvalunnan osuus suurempi kuin syysvehnällä. Poikittain kynetyistä maasta valunta näyttäisi tulevan viiveellä syysvehnään nähden.

Sängessä muokkauskerroksen valunta oli useimmiten hiukan pienempi kuin syysvehnässä (kuva 21), erityisesti talvijaksoilla. Kevätjaksolla sängessä muokkauskerroksen valunta oli samaa tasoa kuin syysvehnässä. Kolmannella koejaksolla sängessä muokkauskerroksen suhteellinen valunta oli selvästi syysvehnän valuntaa suurempi. Tämä ero ilmeisimmin johtui syysvehnäruutujen erittäin hyvästä orastumisesta, jolloin tiheä kasvusto pienensi pintavalunnan määrää. Muilla jaksoilla erot olivat varsin pienet.

Sänkimuokkauksessa muokkauskerroksen valunta oli kahdella ensimmäisellä koejaksolla samaa tasoa ja kahdella seuraavalla koejaksolla suurempi kuin syysvehnällä (taulukko 12). On ilmeistä, että joustopiikkiäkeellä tehdyssä matalassa sänkimuokkauksessa maan pinnalle jää hienojakeista maa-ainesta, joka helposti liettää maan huokoset vettä läpäisemättömäksi. Toisaalta maanpinnan karheus ei ole riittävää hidastamaan veden virtausnopeutta varsinkin, kun pellon pintakaltevuus on suuri. Kolmas sänkimuokatun koeruutujen potentiaalisesti pintavaluntaa

lisäävä tekijä on kasvillisuuden puuttuminen tai vähäisyys maanpinnalla. Tämä näkyikin kolmantena koevuonna, jolloin syysvehnäruuduilla oli tiheä oras ja samanaikaisesti sänkimuokkaus oli tehty liian voimakkaana. Tuolloin sänkimuokatuilla koeruuduilla muokkauskerroksen valunta oli kaksinkertainen suhteessa syysvehnään. Neljännellä koejaksolla valunta oli 20-30 % suurempi kuin syysvehnällä.

Sänkimuokkauksessa ruudulla 2 ensimmäisen koejakson keväällä (90-91) valunta oli kaksinkertainen, toisen jakson (91-92) talvella nelinkertainen ja edelleen saman jakson keväällä lähes kaksinkertainen toisen sänkimuokkausruudun (ruutu 7) valuntaan nähden (liite 3). Tämä ylimääräinen valunta tuli viereiseltä poikittain kynnetyltä ruudulta, eikä ole siten todellista sänkimuokkauksesta johtuvaa valunnan lisäystä. Taulukon 12 suhteellisissa valunnoissa tämä virhe on otettu huomioon (vrt. liite 4). Muilla jaksoilla ruutujen 2 ja 7 valunnat olivat samanlaiset.

Poikittaisen kynnön vaikutus muokkauskerroksen valuntaan on erittäin suuri. Muokkauskerroksen valunta pieneni kolmena koevuonna yli 50 % ja yhtenä koevuonna noin 30 % syysvehnään nähden. Valunnan väheneminen muokkauskerroksessa johtuu veden padottumisesta kyntöviilujen taakse, jolloin vedelle jää enemmän aikaa suotautua maahan. Kyntöviiluilla on vettä padottaessaan voimakas veden virtausta ohjaileva vaikutus, mikäli kyntösuunta poikkeaa vähänkin korkeuskäyrän suunnasta. Tämä tuli esille ajoittain kasvaneena valuntana koeruudulla 2. Käytännön oloissa ilmiö aiheuttaa valunnan kerääntymisen notkopaikkoihin, jolloin valunta purkautuu kyntöviilujen yli edeten vähitellen koko kaltevan pellon osan yli. Ilmiö ja sen haitat riippuvat kaltevuudesta ja pintavalunnan määrästä.

Huomattavaa poikittaisessa kynnössä oli se, että valunnan huiput pienenevät, pienet valunnat jäivät ajoittain kokonaan pois ja valunnat tapahtuivat eri aikaan. Tämä lienee tyypillistä poikittain kynnetyin pellon pintavalunnalle.

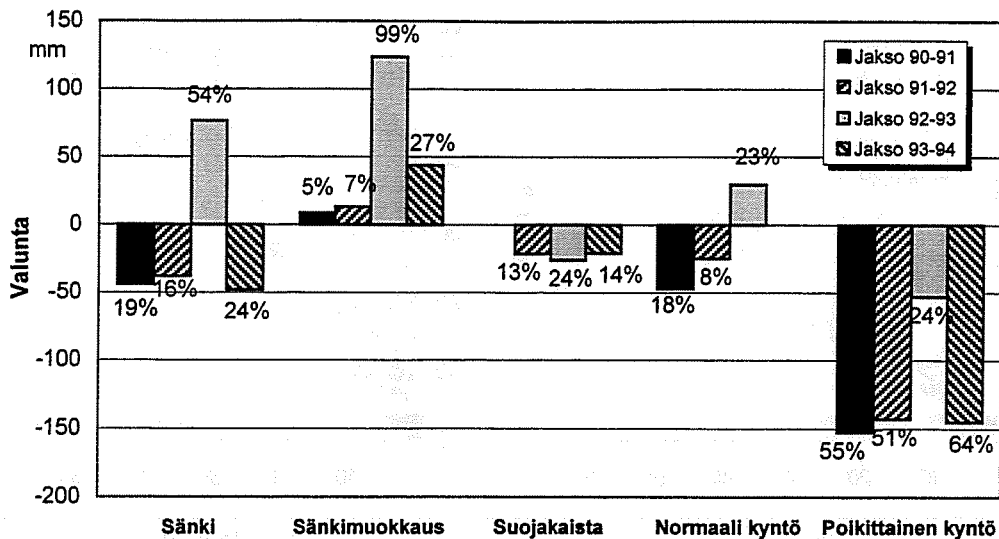
Vaikka muokkauskerroksen valunta poikittain kynnetyssä maassa pienenee erittäin paljon, ei kokonaisvalunnan (pinta-, pintakerros- ja salaojavalunta yhteensä) määrä juurikaan muutu. Syksyllä ja keväällä haihdunta on pieni ja kokonaisvalunnan väheneminen edellyttäisi juuri haihdunnan merkittävää kasvua. Käytännössä muokkauskerroksen valunnasta pois oleva valunta lisää salaojavaluntaa.

Rinteen suuntaisesti kynnetyllä koeruudulla muokkauskerroksen valunta oli hiukan pienempi kuin syysvehnäruuduilla. Muokkauskerroksen valunnan väheneminen johtui ilmeisesti virtausnopeuden pienemisestä kyntöviilujen alla. Kolmannella koejaksolla (taulukko 12) valunta oli kuitenkin syysvehnää suurempi. Neljännen koejakson syksyllä ja talvella valunta jäi myös pienemmäksi (liite 4). Keväällä ao. ruudulla keräimistä havaintokoppiin johtavien putkien jäätyminen esti kevään valunnan mittaamisen.

Suojakaistalla muokkauskerroksen valunta oli syysvehnää pienempi. Ero oli kuitenkin pieni. Suojakaistan valunta hidastui ilmeisesti kaistan tiheässä timotei-kasvustossa.

Taulukko 12. Viljelykäsittelyjen suhteellinen valunta eri koejaksoilla

Käsittely	koejakso 90-91	koejakso 91-92	koejakso 92-93	koejakso 93-94	keskiarvo
syysvehnä	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
sänki	0,81	0,84	1,54	0,76	0,99
sänkimuokkaus	1,05	1,07	1,99	1,27	1,34
suojakaista	-	0,87	0,76	0,86	0,83
poikittainen kyntö	0,45	0,49	0,76	0,36	0,51
rinteen suuntainen kyntö	0,82	0,92	1,23	-	0,99



Kuva 21. Muokkauskerroksen valunta eri käsittelyissä ja valunnan muutos syysvehnäähän nähden.

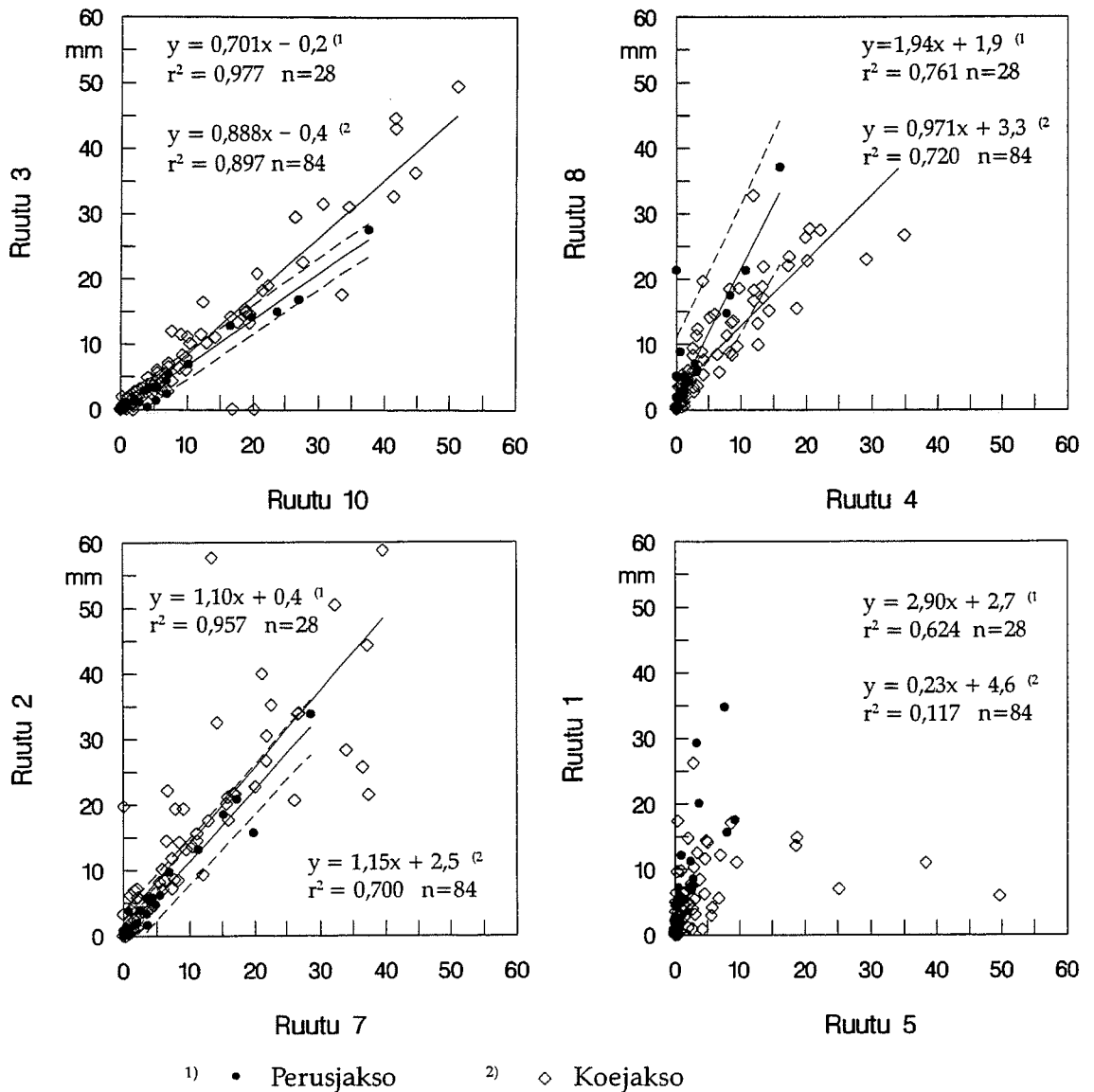
### 5.1.2 Valunnan poikkeamat

Valuntojen poikkeavia havaintoja tutkittiin koko aineiston perusteella vertaamalla perusjaksen ja koejaksojen havaintosarjoja kerranteiden yli. Tarkastelussa arvioitiin yksittäisten poikkeavien havaintojen merkitystä valuntojen määrään ja käsittelyjen vaikutuksiin. Menetelmä on sama kuin kalibrointimalleja laskettaessa. Tässä kerranteiden vertailussa perusjaksen ja koejaksojen aineistojen tulee muodostaa yhtenäinen hajontakuviot, josta poikkeamat selvästi erottuvat.

Syysvehnäruuduille (3 ja 10) perusjaksen havainnoista ( $n=28$ ) lasketussa regressiomallissa kulmakertoimen on pienempi kuin koejakson ( $n=84$ ) mallissa (kuva 22). Mallien kulmakertoimien kuitenkin pitäisi olla samat. Ero johtuu pääosin perusjaksolla esiintyneestä valunnan vajauksesta ruudulla 3. Tämä näkyy perusjaksen valuntahavaintojen osittaisena sijoittumisena hajontakuviot alareunaan, mikä pienentää mallin kulmakertoimista. Myös koejaksoilla esiintyi valunnan kokoamisessa ajoittaisia häiriöitä. Vuoden 1994 maaliskuussa viikon pituisella jaksolla ruudulta 3 tuli valuntaa vain 0,2 mm, kun ruudulla 10 valunta oli 37 mm.

Käytettäessä ruudulla 3 perusjaksen valuntana täydennettyä valuntaa, tulee ruutuparien malli ( $0,911 \cdot q_{10} - 0,5$ ) lähes samaksi kuin kuvan 22 koejaksojen malli selitysasteen pysyessä lähes ennallaan ( $r^2 = 0,955$ ). Jos koejaksojen havainnoista hylätään kaksi poikkeavaa havaintoa vuoden 1994 maaliskuulta, tulee koejakson malli ( $0,909 \cdot q_{10} - 0,2$ ) käytännöllisesti katsoen samaksi kuin em. perusjaksen malli ( $r^2 = 0,946$ ). Tästä voidaan päätellä, että perusruuduilla valunta muutamaa poikkeavaa havaintoa lukuunottamatta oli hyvin samanlaista.

Perusjaksolla ruudulla 4 esiintyneet valunnan mittausergelmat näkyvät ruutuparien 4 ja 8 (so. sänkiruudut) hajontakuviotissa. Perusjaksen havainnot poikkeavat täysin koejaksojen havainnoista. Edelleen koejaksoilla valuntojen kokoamisessa oli ajoittaisia ongelmia, mikä pienensi ruudun 4 valuntaa (liite 3). Ensimmäiseltä ja toiselta koejaksoilla on kaksi poikkeavaa havaintoa, joita vastaavat valunnat olivat ruudulta 8 yhteensä 53 mm ja ruudulla 4 vain 16 mm. Vuoden 1994 maaliskuulle ajoittuu kaksi koejakson poikkeamaa. Tuolloin ruudulta 8 mitattiin valuntaa 28 mm, kun ruudulta 4 ei valuntaa tullut lainkaan.



Kuva 22. Muokkauskerroksen valunnan vaihtelu eri ruuduilla (kerranteilla) perus- ja koejaksoilla (95 %:n luotettavuusrajat perusjakson regressiosuoralle).

Koejakson valuntahavainnoista ( $n=83$ ) lasketun mallin selitysaste on 0,720. Jos kaksi em. nollahavaintoa hylätään, selitysaste nousee 0,765:een. Koejakson valuntoihin sisältyvä suuri hajonta oli osittain peräisin yksittäisistä virrehavainnoista ja osittain ruudulla 4 jatkuneista mittausongelmista. Kun perusjakson valunta ruudulla 4 jäi alle puoleen ruudun 8 valunnasta, ei tätä koeruutua voitu käyttää lainkaan valuntatarkasteluissa.

Koeruutujen 2 ja 7 (sänkimuokkausruudut) valunnan hajonta koejaksoilla kasvoi huomattavasti perusjakson hajontaan nähden (kuva 22). Tämä johtui ruudulla 2 jo aikaisemmin mainitusta valunnan lisäyksestä ensimmäisellä ja toisella koejaksoilla. Vaikka nettoruutujen välissä oli suojaruutu, tämä ei kyennyt estämään runsaamman valunnan aikaan ruudulla 1 poikittaisten kyntöviilujen pysäyttämää valuntaa ohjautumasta viereiselle sänkimuokkatulle ruudulle. Kuvassa 22 nämä näkyvät poikkeavina havaintoina hajontakuvion alareunassa. Jos kolme kauimmaista koejakson valuntahavaintoa jätetään pois mallista, lähenee malli ( $0,743 \cdot q_2 + 0,3$ ) perusjakson mallia. Selitysaste ( $r^2=0,812$ ) jää edelleen selvästi perusjaksoa heikommaksi.

Valunnan mittausongelmat ruudulla 5 tulevat selvästi esille hajontakuviassa (kuva 22). Valunnan vajoaus oli säännönmukaista. Koejaksolla hajontakuviioon vaikuttaa ratkaisevasti poikittain kynnettyjen ruutujen valuntojen eriaikaisuus (1 ja 5). Perusjakson valunnan vajauksen vuoksi koeruutua 5 ei voitu käyttää lainkaan valunnan tarkasteltaessa. Toisella ja kolmannella koejaksolla ruudun 5 valunta jäi alle puoleen ruudun 1 valunnasta (liite 3), mikä viittaa pysyvämpiin valunnan mittausongelmiin ao. ruudulla.

Rinteen suuntainen kyntö ruudu 6 ja suojakaista ruudulla 9 olivat käsittelyinä ainoastaan yhdellä koeruudulla kumpikin, joten vastaavaa tarkastelua näille koeruuduille ei voitu tehdä.

Kerranteiden välinen tarkastelu osoittaa selvästi valunnan mittauksessa esiintyneet ongelmat. Perusjaksolla virheetön valunnan mittaus on kenttäkokeen kannalta erittäin tärkeää, koska kalibrointimallit perustuvat ko. jaksoon ja myöhemmin koejaksoilla tehtävät vertailut perustuvat näihin malleihin. Kun kalibrointimallien laskenta perustuu samanhetkisiin havaintopareihin, havainnot eivät saa sisältää ylimääräistä valuntaa eikä siitä saa puuttua valuntaa. Puuttuvat havainnot eivät vaikuta malleihin. Siten havaintojen lukumäärän suhteen vajaa havaintosarja ei estä mallien laskemista, jos käytettävissä olevat havaintoparit ovat virheettömiä. Täten koeruutujen 4 ja 5 hylkääminen valuntatarkastelussa on perusteltua.

### 5.1.3 Valunta ja hydrologiset olosuhteet

Koekentän valuntaa verrattiin Vihdissä olevan 12 peltihehtaarista muodostuvan Hovin valuma-alueen valuntaan. Kun Aurajoen koekentällä mitattiin vain muokkauskerroksen valunta, Hovissa on mitattu erikseen sekä kokonaisvalunta että salaojavalunta. Vertailun perusteella tehtiin päätelmiä koekentän valunna edustavuudesta.

Koekentän perusjaksoa edelsi kuiva kesäkausi, jonka seurauksena maaprofiili halkeili. Syyskuussa sademäärä oli 26 mm (Turun lentoasema), lokakuussa 61 mm ja marraskuussa 96 mm (Ilmatieteen laitos 1989). Syys-lokakuussa koekentällä muokkauskerroksen valunta oli kuitenkin vain 1,2 mm ja marraskuussa 3,9 mm. Hovin valuma-alueella, jonka maalaji on hiesusavea ja keskikaltevuus 2,8 % (Seuna ja Kauppi 1981), sadanta (Maasoja) oli syyskuussa 40 mm, lokakuussa 42 mm ja marraskuussa 41 mm. Myös täällä valunta alkoi hitaasti. Kokonaisvalunta (pinta-, pintakerros ja salaojavalunta yhteensä) oli syys-lokakuussa 1,6 mm ja marraskuussa 6,9 mm. Sadanta varastoitui kuivan kesän jälkeen maaperään.

Aurajoen koekentällä koko muokkauskerroksen valunnan osuus sadannasta oli perusjaksolla 34 %, kun Hovissa kokonaisvalunnan osuus sadannasta oli 61 % (taulukko 13). Kokonaisvalunnan (pinta-, pintakerros- ja salaojavalunta yhteensä) osuus sadannasta on luonnollisesti suurempi kuin pintavalunnan tai muokkauskerroksen valunnan osuus, mutta tässä ero on huomattavan suuri. Koejaksoilla muokkauskerroksen valunnan osuus oli loka-huhtikuun sadannasta yli 50 %, kolmatta jaksoa (92-93) lukuunottamatta. Hovissa kokonaisvalunnan osuus sadannasta oli vastaavilla jaksoilla samaa tasoa eli 49-61 %.

Jos kokonaisvalunnan osuus sadannasta oletetaan Aurajoen koekentällä ja Hovin valuma-alueella yhtä suureksi, saadaan Aurajoen koekentälle alueen sadannasta lasketuksi kokonaisvalunta (taulukko 13). Tämän arvion mukaan salaojavalunnan osuus Aurajoen koekentän kokonaisvalunnasta vaihtelisi noin 5 %:ta 40 %:iin lokakuusta huhtikuun loppuun käsittävällä jaksolla. Hovin alueella vastaavat osuudet vaihtelivat 65:stä 90 %:iin. Poikkeuksena on kuitenkin neljättä koejaksoa (93-94) vastaava kausi, jolloin salaojavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli Hovissa vain 20 %. Tämä viittaa siihen, että valuntasuhteet voivat vaihdella erittäin paljon eri vuosina.

Taulukko 13. Sadanta (korjaamaton), valunta ja valunnan osuus sadannasta Aurajoen koekentällä ja Hovin valuma-alueella.

Koekenttä/ valuma-alue	Perusjakso (16.10-5.4)	I koejakso (24.9-8.4)	II koejakso (30.9-26.4)	III koejakso (15.10-26.4)	IV koejakso (6.10-18.4)
<b>Aurajoen koekenttä</b>					
Sadanta mm (Turun lentokenttä) <sup>1)</sup>	522	387	452	396	384
Arvioitu kokonaisvalunta mm	318	190	276	210	234
Pintavalunta mm <sup>3)</sup>	180	235	236	152	208
osuus sadannasta %	34	61	52	38	54
Salaojavalunta mm	138	-	40	58	26
osuus kokonaisvalunnasta %	43	-	15	28	11
<b>Hovin valuma-alue</b>					
Sadanta mm (Maasoja) <sup>1)</sup>	374	337	401	343	311
Salaoja + pintavalunta mm <sup>2)</sup>	230	166	246	182	189
osuus sadannasta %	61	49	61	53	61
Salaojavalunta mm <sup>2)</sup>	186	108	221	159	38
osuus kokonaisvalunnasta %	81	65	90	87	20
Pintavalunta mm (edell. erotus)	44	58	25	23	151

<sup>1)</sup> Ilmatieteen laitos

<sup>2)</sup> VETREK 1994 (julkaisematon aineisto)

<sup>3)</sup> Valunnassa perusruudun 3 korjattu valunta

Ensimmäisellä koejaksolla (90-91) Aurajoella laskennallinen kokonaisvalunta jäi pienemmäksi kuin mitattu muokkauskerroksen valunta. Aurajoella kokonaisvalunnan osuus sadannasta saattaakin olla suurempi kuin tasaisilla alueilla. Valuntasuhteiden voimakas vaihtelu eri jaksoilla viittaa siihen, että pintakaltevuuden kasvaessa valunta tapahtuu ajoittain lähes pelkästään muokkauskerroksessa. Tässä hydrologisilla tekijöillä, esim. roudalla, sulannan intensiteetillä ja sadannan ajoittumisella, on hyvin suuri vaikutus.

Koekentällä mitatuilla valunnan määrillä ei ole laajempaa yleistettävää arvoa, vaan ne kuvaavat olosuhteittensa valuntaa. Muokkauskerroksen valuntojen huomattava erilaisuus joillakin koeruuduilla johtui keräinten toimintaan liittyvistä häiriöistä. Valunnan mittauksessa esiintyneet häiriöt painottuivat perusjaksoon. Keräimet olivat vielä asennuksen jäljiltä löyhästi maassa, jolloin ohivirtaukset olivat mahdollisia. Tähän viittaa ruutujen 4,5 ja 9 pieneksi jääneet valunnat perusjaksolla ja se, että viereisten ruutujen ja suoja-alueiden valunta ei kasvanut.

Kun koekentän valuntaa arvioidaan alueen hydrologisiin olosuhteisiin (taulukko 13), voidaan koekentältä mitattujen valuntojen katsoa määrällisesti edustavan varsin hyvin todellista muokkauskerroksen valuntaa. Valuntaan sisältyvästä epävarmuudesta johtuen 10-15 % muutoksia suuntaan tai toiseen ei kuitenkaan voida pitää todellisina valunnan muutoksina.

## 5.2 Valunnan kiintoainepitoisuus

Perusruuduilla muokkauskerroksen valunnan keskimääräinen kiintoainepitoisuus koejaksoilla oli 720 mg l<sup>-1</sup> (taulukko 14). Vuosittain tämä vaihteli erittäin voimakkaasti. Kun perusjaksolla kiintoainepitoisuus oli 1450 mg l<sup>-1</sup> (taulukko 8, s. 40), oli se ensimmäisellä ja neljännellä koejaksolla vain hiukan yli 400 mg l<sup>-1</sup> ja toisella ja kolmannella koejaksolla 915 - 1105 mg l<sup>-1</sup> (taulukko 14). Näin suurella pitoisuuden vaihtelulla on erittäin suuri vaikutus vuosittaiseen eroosioon, vaikka valunnassa ei tapahtuisikaan muutoksia.

Taulukko 14. Muokkauskerroksen (0-30 cm) valunnan kiintoainepitoisuus (mg l<sup>-1</sup>) ja sameus eri koejaksoilla ja vuodenaikoina syysvehnällä (peruskäsittely).

Koejakso	perus-ruutu	Syksy 1.9-20.12		Talvi 21.12-28.2		Kevät 1.3-10.5		Koko jakso		
		ka	sameus	ka	sameus	ka	sameus	ka	sameus	
<b>Koejakso 90-91</b>										
Syysvehnä	3	1435	1530	245	145	550	495	435	365	
Syysvehnä	10	1705	1890	165	125	695	675	410	395	
Keskiarvo		1570	1710	205	145	625	585	425	380	
<b>Koejakso 91-92</b>										
Syysvehnä	3	1625	-	515	-	505	-	810	-	
Syysvehnä	10	2120	-	905	-	420	-	1020	-	
Keskiarvo		1875	-	710	-	465	-	915	-	
<b>Koejakso 92-93</b>										
Syysvehnä	3	1225	1210	1035	1175	825	795	1020	1045	
Syysvehnä	10	1490	1430	1310	1465	960	1025	1240	1285	
Keskiarvo		1360	1320	1175	1320	895	910	1130	1165	
<b>Koejakso 93-94</b>										
Syysvehnä	3	700	740	250	270	600	535	535	535	
Syysvehnä	10	420	305	170	140	190	155	270	205	
Keskiarvo		560	525	210	205	395	345	405	370	
Koejaksojen keskiarvo		1340	1185	575	555	595	615	720	640	

Toimenpidejaksolla (90-94) kevään keskimääräiset kiintoainepitoisuudet olivat perusruuduilla samalla tasolla. Syksyllä ja talvella pitoisuuden taso vaihteli enemmän kuin keväällä. Talvella pitoisuuksiin vaikuttaa maan routaisuus. Syksyllä pitoisuudet olivat valunnan alkaessa pääsääntöisesti korkeimmillaan.

### 5.2.1 Kiintoainepitoisuus eri käsittelyissä

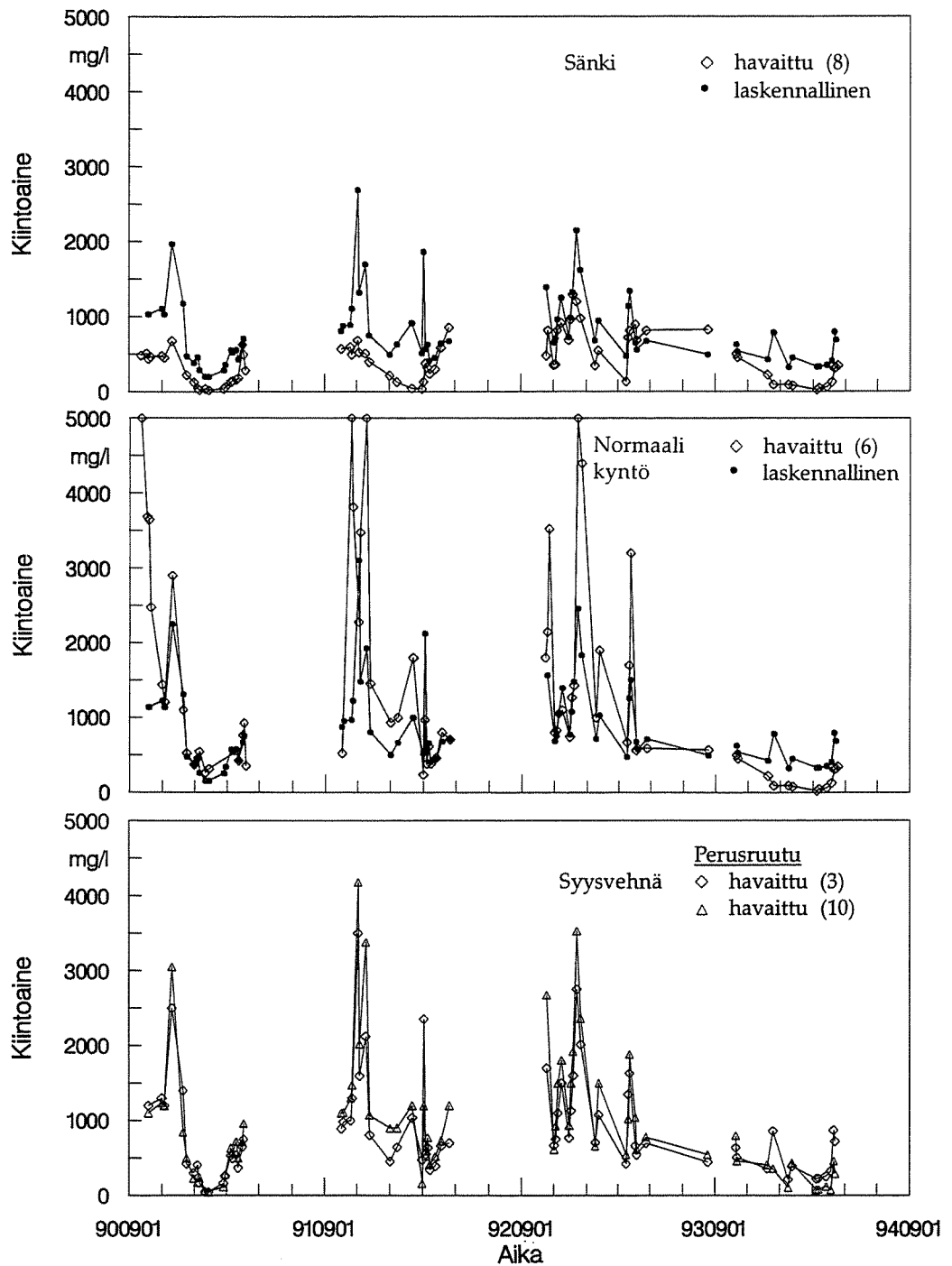
Muokkauskerroksen ylimmän kerroksen (0-10 cm) valunnassa kiintoainepitoisuudet vaihtelivat sitä enemmän, mitä voimakkaammin maata oli käsitelty. Alemmassa kerroksessa (10-30) pitoisuuksien vaihtelu oli vähäisempää kuin pintakerroksessa (0-10 cm). Sänkiruuduilla valunnan pitoisuuden ajallinen vaihtelu pieni huomattavasti verrattuna syysvehnäruudun (peruskäsittely) vaihteluun. Vaikka vaihtelua eri vuodenaikoina esiintyikin, korkeat kiintoainepitoisuudet puuttuivat kokonaan (kuva 23), mikä oleellisesti pienensi valunnan keskimääräisiä pitoisuuksia sängellä (liite 5).

Sängellä kiintoainepitoisuuden muutosta kuvaavat suhteelliset pitoisuudet ovat kaikilla koejaksoilla pienemmät kuin syysvehnällä (taulukko 15). Koejaksojen keskimääräinen suhteellinen pitoisuus sängellä oli 0,46. Suhteellinen pitoisuus eri jaksoilla vaihteli varsin vähän. Keskimääräinen kiintoainepitoisuus aleni sängellä voimakkaasti, kun korkeita ka-pitoisuuksia ei valunnassa esiintynyt (kuva 23).

Sänkimuokkausruuduilla valunnan kiintoainepitoisuudet poikkesivat vertailutasostaan vähän ja pitoisuuksien vaihtelu oli hyvin samanlaista kuin syysvehnällä. Koko koejakson keskimääräinen suhteellinen pitoisuus sänkimuokkauksessa oli 0,99 (taulukko 15). Tässä näkyy kuitenkin voimakkaasti kolmannen koejakson vaikutus, jolloin keskimääräinen kiintoainepitoisuus sänkimuokkauksessa oli 40 % korkeampi kuin syysvehnällä. Kahdella koejaksolla pitoisuudet olivat 30 % vertailutasoaan pienempiä. Syksyllä valunnan alkaessa pitoisuudet olivat usein vertailutasoa korkeampia.

Taulukko 15. Viljelykäsittelyjen suhteellinen kiintoainepitoisuus eri koejaksoilla.

Käsittely	koejakso	koejakso	koejakso	koejakso	keskiarvo
	90-91	91-92	92-93	93-94	
syysvehnä	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
sänki	0,44	0,37	0,62	0,41	0,46
sänkimuokkaus	1,13	0,72	1,39	0,71	0,99
suojaista	-	0,49	0,52	0,39	0,47
poikittainen kyntö	1,00	0,92	1,11	1,19	1,06
rinteen suuntainen kyntö	1,91	1,89	1,60	-	1,80



Kuva 23. Valunnan laskennallinen ja havaittu kiintoainepitoisuus eri käsittelyissä.



Poikittain kynnetyillä ruuduilla kiintoainepitoisuudet poikkesivat vertailutasostaan vähän. Koko koejakson keskimääräinen suhteellinen kiintoainepitoisuus oli 1,06. Ruutujen välillä oli eri jaksoilla eroja, mikä saattaa kuvata poikittaisen kynnetyin pellon todellisuutta. Poikittain kynnetyillä ruuduilla valuntaan sisältyi eriaikaisuutta, mikä ilmeisesti vaikutti myös valunnan pitoisuuksiin. Toisaalta myös pintavalunnan purkautumistavasta riippuen pitoisuudet voivat vaihdella huomattavasti paikan suhteen.

Rinteen suuntaisesti kynnetyillä koeruudulla valunnan kiintoainepitoisuudet olivat korkeimmat. Vaikka pitoisuudet olivat ajoittain samalla tasolla kuin syysvehnällä, ei se sanottavasti vähentänyt korkeiden pitoisuuksien merkitystä vuositasolla. Keskimääräinen suhteellinen kiintoainepitoisuus kolmella ensimmäisellä koejaksolla rinteen suuntaisessa kynnössä oli 1,8. Neljännellä koejaksolla koeruidun valuntaa ei saatu mitatuksi ilmeisesti putkien jäätyneen vuoksi, joten analyysijä ei voitu tehdä ko. jakson keväällä.

Suojakaistan (nurmikaista) läpi tulevan valunnan kiintoainepitoisuus vaihteli samaan tapaan kuin sänkiruuduilla. Korkeat kiintoainepitoisuudet puuttuivat kokonaan, vaikka kaistan yläpuolisella koeruudulla käsittelynä oli syysvehnä. Keskimääräinen suhteellinen pitoisuus oli suojakaistalla oli 0,47. Ensimmäisellä koejaksolla suojakaistaa ei oltu vielä perustettu.

Eri käsittelyjen mahdolliset erot pintavalunnan kiintoainepitoisuudessa korostuvat silloin, kun olosuhteet suosivat eroosiota. Suuret erot eri käsittelyjen välillä on tyypillisesti hetkittäisiä ja lyhytaikaisia. Pitoisuuksien erot tulevat esille molempien kerrosten valunnan pitoisuuksissa. Muutos on kuitenkin suurempi ylemmän kerroksen pitoisuudessa. Olosuhteissa, joissa valunnan kiintoainepitoisuudet ovat matalia, käsittelyjen väliset erot pienenevät tai häviävät kokonaan.

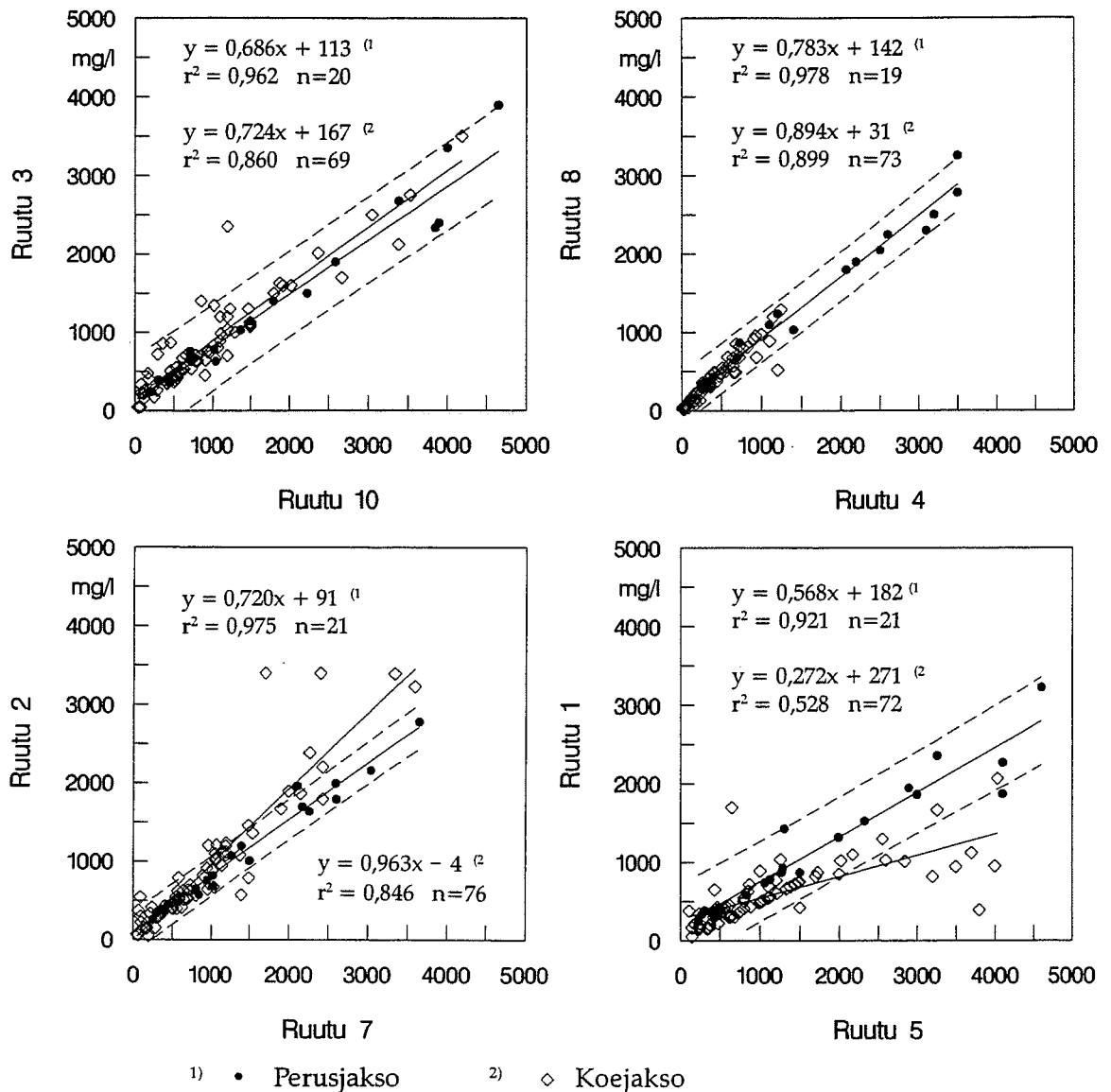
### 5.2.2 Kiintoainepitoisuuden poikkeamat

Valunnan kiintoainepitoisuuden poikkeamia tutkittiin samalla tavalla kuin valunnan poikkeamia kerranepareittain perusjakson ja koejakson hajontakuvioiden poikkeamina. Myös tässä arvioidaan pelkästään poikkeavien havaintojen vaikutusta tuloksiin.

Syysvehnäruuduilla (3 ja 10) kiintoainepitoisuuden ajallinen vaihtelu oli keskenään samanlaista koko kenttäkokeen ajan. Koejakson havainnoista lasketussa regressiomallissa kulmakerroin on vähän suurempi kuin perusjakson mallissa. Koejakson mallin heikompi selitysaste johtuu pääasiassa yhdestä toisen koejakson maaliskuulle ajoittuvasta havainnosta. Sitä vastaavat valunnat olivat 3 mm ruudulla 3 ja 5 mm ruudulla 10, mikä on koejakson valunnasta alle 2 %. Jos havainto jätetään mallista pois, mallin selitysaste ( $r^2$ ) kasvaa 0,911:een ja itse malli ( $0,718 \cdot S_{10} + 154$ ) on hyvin lähellä perusjakson mallia.

Ruutupareilla 4 ja 8 (sänkiruudut) kiintoainepitoisuuden ajallinen vaihtelu oli keskenään samanlaista kaikilla jaksoilla. Koejaksolle lasketun mallin kulmakerroin on hiukan suurempi kuin perusjakson mallissa kuvassa 24. Mallien selitysasheet ovat korkeat. Ruutujen välinen ero pysyy lähes ennallaan perusjaksolta koejaksoille, vaikka kulmakerroin kasvaakin vähän koejakson mallissa.

Ruutupareilla 2 ja 7 (sänkimuokkausruudut) kiintoainepitoisuuden poikkeamat kasvattavat koejakson regressiomallissa kulmakerroin perusjakson malliin nähden (kuva 24). Poikkeavia havaintoja on neljä. Kaksi kauimmaista havaintoa ovat ensimmäisen koejakson syys-lokakuun vaihteesta ja niitä vastaavat valunnat ovat molemmilla ruuduilla alle 0,5 mm. Kaksi muuta poikkeamaa ovat kolmannen koejakson joulukuulta ja niitä vastaavat valunnat ovat yhteensä 12 mm ruudulla 2 ja 11 mm ruudulla 7. Tämä on 4,5 % ko. koejakson valunnasta.



Kuva 24. Muokkauskerroksen valunnan kiintoainepitoisuuden vaihtelu koeruuduilla (kerranteilla) perus- ja koejaksoilla (95 %:n luotettavuusrajat perusjaksos regressionisuoralle).

Ruutujen 2 ja 7 poikkeavista pitoisuushavainnoista kaksi liittyy heti toteutetun käsittelyn (sänkimuokkaus) jälkeen alkavaan valuntaan ja niiden merkitys kuormitusta laskettaessa on lähes olematon. Kaksi muuta havaintoa, joiden absoluuttiset arvot ovat molemmilla ruuduilla lähes samat, saattavat olla oikeita havaintoja. Tämä merkitsisi sitä, että perusjaksolla ruudulla 2 kiintoainepitoisuudet olisivat olleet systemaattisesti liian pieniä. Jos kaksi kauimmaista koejakson havaintoa jätetään regressionmallista pois, se ( $0,880 \cdot s_7 + 28$ ) lähenee perusjaksos mallia, mutta jää edelleen perusjaksos mallista poikkeavaksi. Tämä koejakson ja perusjaksosjen ero kerranteiden välillä vaikuttaa tulosten luotettavuuteen.

Ruuduilla 1 ja 5 valuntojen kiintoainepitoisuuksissa oli perusjaksolla huomattava tasoero, mikä näkyy perusjaksos regressionmallin kulmakertoimesta (kuva 24). Mallin selitysaste on kuitenkin korkea, mikä osoittaa, että ruutuparien ajallinen vaihtelu oli perusjaksolla samanlaista. Koejaksojen kaikista havainnoista kuusi poikkeaa huomattavasti perusjaksos havainnoista. Tämä näkyy kuvan 24 hajontakuviassa. Poikkeamat jakaantuvat tasaisesti eri koejaksoille. Ensimmäisen koe-

jakson lokakuulle ajoittuvan poikkeaman valunta oli alle 2 mm, toisen koejakson marraskuulle ajoittuvien poikkeamien valunta 13 mm ja neljännen koejakson keväeseen ajoittuvien poikkeamien valunta 4,5 mm. Valuntojen osuus ensimmäisellä jaksolla oli alle 2 % ja toisella ja neljännellä koejaksolla n. 10 % ao. jaksojen kokonaisvalunnoista.

Poikkeamat johtuvat ilmeisesti poikittain kynnetyjen koeruutujen valunnan luonteesta. Valunta on padottumisen vuoksi ajoittaista ja ruutujen välillä hyvin eriaikaista. Jos mainitut kuusi havaintoa jätetään regressiomallista pois, lähenee malli ( $0,425 \cdot s_5 + 130$ ) perusjakson mallia.

Jos koeruuduilta mitattu valunta on vain osa todellisesta valunnasta, se saattaa vaikuttaa valunnan pitoisuuksien ajalliseen vaihteluun. Kun pitoisuuksien ajallinen vaihtelu oli suurta, pienet satunnaiset pitoisuuksien poikkeamat peittyvät tähän. Käytännössä ohivalunnassa mahdollisesti tapahtunut kiintoaineksen erottuminen lienee kuitenkin ollut niin vähäistä, että mittaukseen tullut valunta oli pitoisuudeltaan samanlaista kuin mittaamatta jäänyt valunta (ruudut 4 ja 5).

Vaikka tämä tarkastelu osoitti joukon poikkeavia havaintoja, ne jakaantuvat tasaisesti eri koejaksoille. Ne vaikuttavat lopullisiin tuloksiin vain yksittäisinä havaintoina ja siten niiden vaikutus ei ole suuri. Kun perusjaksolla ei ollut merkittäviä poikkeamia, perus- ja koeruutujen välisiin kalibrointimalleihin sisältyvä virhe jää pieneksi. Lopputuloksiin sisältyvä kokonaisvirhe tulee lähinnä koejakson poikkeavista havainnoista.

### 5.3 Valunnan fosforipitoisuus

Perusruuduilla muokkauskerroksen valunnan keskimääräinen partikkelifosforin pitoisuus oli 1,24 mg l<sup>-1</sup>. Vuosittain se vaihteli erittäin voimakkaasti. Kun perusjaksolla sen keskimääräinen pitoisuus oli 2,6 mg l<sup>-1</sup>, se vaihteli koejaksoilla 0,56-2,1 mg l<sup>-1</sup> (taulukko 16). Eri jaksojen keskimääräisten pitoisuuksien ero oli suurimmillaan nelinkertainen eli suurempi kuin kiintoainepitoisuudessa.

Taulukko 16. Muokkauskerroksen valunnan partikkelifosforin (P<sub>part</sub>) ja liukoisen fosforin (DRP) pitoisuus (mg l<sup>-1</sup>) ja DRP:n osuus kokonaisfosforista (DRP<sub>%</sub>) eri vuosina ja vuodenaikoina syysvehnällä (peruskäsittely).

Koejakso	Perusruudut	Syysy 1.9-20.12			Talvi 21.12-28.2			Kevät 1.3-10.5			Koko jakso		
		P <sub>part</sub>	DRP	DRP <sub>%</sub>	P <sub>part</sub>	DRP	DRP <sub>%</sub>	P <sub>part</sub>	DRP	DRP <sub>%</sub>	P <sub>part</sub>	DRP	DRP <sub>%</sub>
<b>Koejakso 90-91</b>													
Syysvehnä	3	2,61	0,34	11,7	0,61	0,15	19,9	0,81	0,23	22,4	0,84	0,19	18,7
Syysvehnä	10	3,23	0,33	9,3	0,29	0,12	30,0	1,07	0,26	19,5	0,70	0,17	19,8
Keskiarvo		2,92	0,34	10,5	0,45	0,14	25,0	0,94	0,25	21,0	0,77	0,18	19,3
<b>Koejakso 91-92</b>													
Syysvehnä	3	2,90	0,32	10,0	0,82	0,27	24,8	0,76	0,21	21,7	1,35	0,26	15,9
Syysvehnä	10	3,70	0,32	7,9	1,49	0,24	13,8	0,64	0,18	21,9	1,71	0,23	12,0
Keskiarvo		3,30	0,32	9,0	1,16	0,26	19,3	0,70	0,20	21,8	1,53	0,25	14,0
<b>Koejakso 92-93</b>													
Syysvehnä	3	2,44	0,37	13,0	2,06	0,23	9,9	1,36	0,23	14,3	1,93	0,27	12,5
Syysvehnä	10	2,95	0,34	10,3	2,50	0,22	8,2	1,50	0,23	13,5	2,28	0,27	10,5
Keskiarvo		2,70	0,36	11,7	2,28	0,23	9,1	1,43	0,23	13,9	2,11	0,27	11,5
<b>Koejakso 93-94</b>													
Syysvehnä	3	1,05	0,33	23,6	0,37	0,14	27,5	0,89	0,30	25,5	0,80	0,26	24,8
Syysvehnä	10	0,47	0,31	39,6	0,23	0,15	39,9	0,24	0,14	36,7	0,32	0,20	38,8
Keskiarvo		0,76	0,32	31,6	0,30	0,15	33,7	0,57	0,22	31,1	0,56	0,23	31,8
<b>Koejaksojen keskiarvo</b>													
		2,42	0,34	16,0	1,05	0,20	22,0	0,91	0,23	22,0	1,24	0,23	19,0

Koejaksojen keskimääräinen DRP-pitoisuus perusruuduilla oli 0,23 mg l<sup>-1</sup>. Eri koejaksoilla pitoisuudet olivat hyvin samanlaiset. Kun perusjaksolla pitoisuus oli 0,38 mg l<sup>-1</sup>, se vaihteli koejaksoilla 0,18-0,27 mg l<sup>-1</sup>. Ensimmäisellä koejaksolla (90-91) muita jaksoja pienempi DRP-pitoisuus aiheutui talven runsaasta valunnasta, jolloin pitoisuudet olivat hyvin pieniä. Syksyllä pitoisuudet olivat korkeammat kuin keväällä, mutta kuitenkin kaikilla koejaksoilla hyvin samanlaiset.

DRP:n osuus kokonaisfosforista oli keskimäärin 19,0 %. Perusjaksolla DRP:n osuus oli 13,0 %. Koejaksoilla se vaihteli 11,0-32,0 %:iin. Neljännellä koejaksolla (93-94) korkea DRP:n osuus johtui lähinnä toisen perusruudun oleellisesti pienemmästä kiintoainepitoisuudesta, jonka seurauksena partikkelifosforin pitoisuus oli myös pienempi. Kun DRP pysyi muuttumattomana, sen osuus kasvoi merkittävästi.

Partikkelifosforin pitoisuudet olivat ajoittain myös talvella erittäin korkeita. Kolmannella koejaksolla (92-93) se oli 2,3 mg l<sup>-1</sup>, kun ensimmäisen ja neljännen koejakson talvella pitoisuudet olivat 0,30-0,45 mg l<sup>-1</sup>. Vaihtelu noudatti tarkasti kiintoainepitoisuuden vaihtelua. Siten partikkelifosforille oli myös tyypillistä voimakas vuodenaikaisvaihtelu. Myös DRP-pitoisuudet vaihtelivat hiukan eri vuodenaikoina.

Muokkauskerroksen alemman ja ylemmän kerroksen DRP-pitoisuudet olivat lähes samoja lukuunottamatta sänkeä ja sänkimuokkausta. Näissä käsittelyissä alemman kerroksen pitoisuus oli jonkin verran korkeampi kuin pintakerroksessa.

### **5.3.1 Fosforipitoisuus eri käsittelyissä**

Viljelykäsittelyjen vaikutus muokkauskerroksen valunnan partikkelifosforipitoisuuksiin oli huomattavaa (kuva 25). Sänkivaihtoehdossa koejaksojen keskimääräinen suhteellinen pitoisuus oli 0,47 (taulukko 17). Kolmas koejakso (92-93) oli poikkeuksellinen, jolloin suhteellinen pitoisuus oli 0,65. Tämä ilmeisimmin johtui erittäin hyvästä syysviljan oraasta, jolloin syysvehnältä kuormitusta tuli keskimääräistä vähemmän. Partikkelifosforin pitoisuuden muutokset pintavalunnassa olivat samanlaiset kuin kiintoainepitoisuuden muutokset.

Sänkimuokkauksessa koejaksojen suhteellinen partikkelifosforin pitoisuus oli 1,18. Partikkelifosforin suhteelliset pitoisuudet olivat suuremmat kuin kiintoainepitoisuudet. Tämä saattoi johtua eroosion selektiivisyydestä. Kun käsittely tehtiin joustopiikkiäkeellä matalaan, maan pinnasta mahdollisesti eroidoitui runsaammin hienoa maa-ainesta. Fosforia on hienossa maa-aineksessa suhteellisesti enemmän kuin koko muokkauskerroksessa.

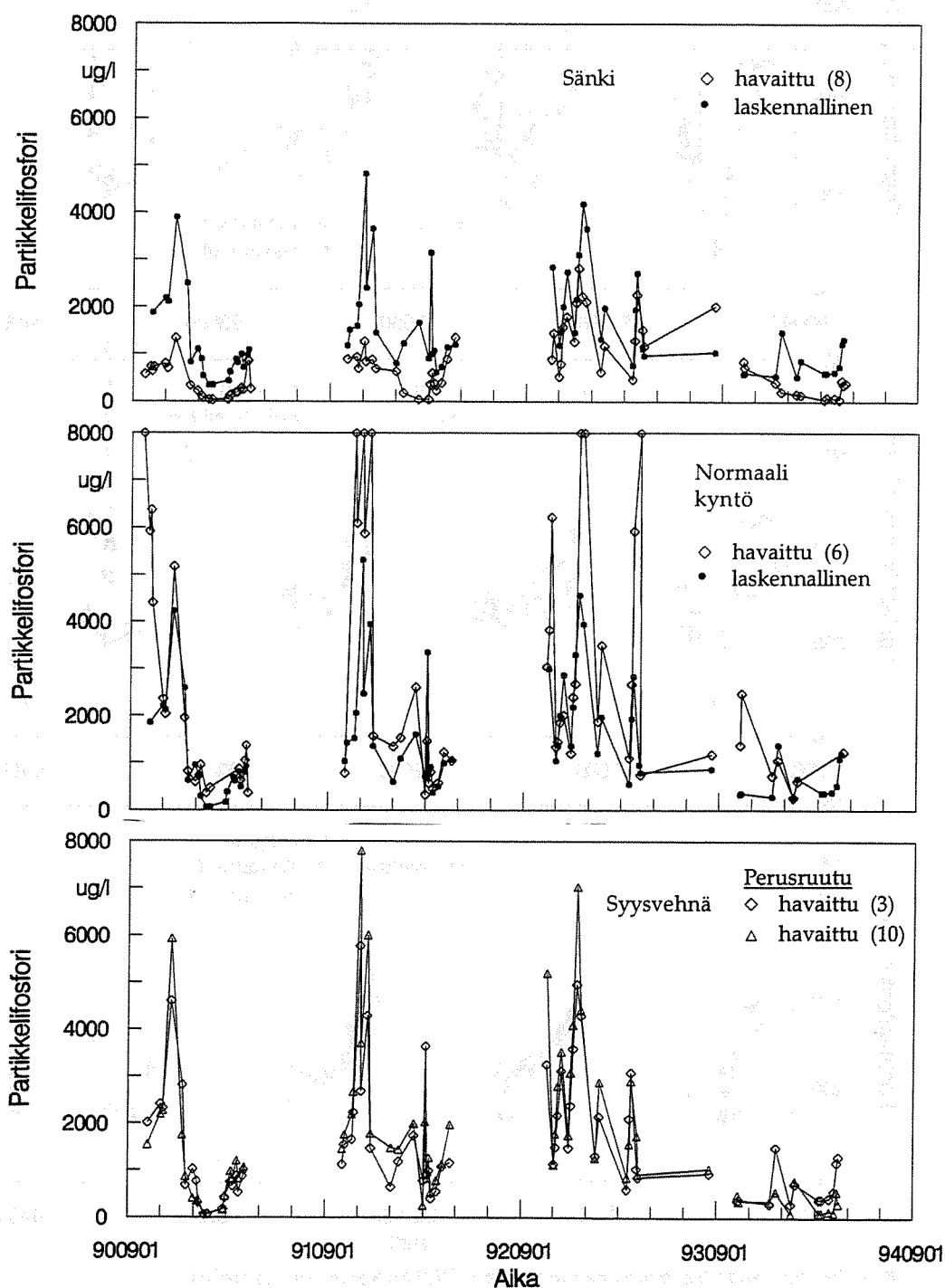
Rinteen suuntaisesti kynnetyllä koeruudulla partikkelifosforin pitoisuudet kasvoivat ajoittain yli kaksinkertaiseksi suhteessa syysvehnään. Kolmen koejakson keskimääräinen suhteellinen pitoisuus oli 2,03. Myös tässä partikkelimaisen fosforin suhteellinen pitoisuus oli korkeampi kuin kiintoaineksella, mikä viittaa eroosion selektiivisyyteen.

Poikittain kynnetyllä koeruudulla partikkelifosforin suhteelliset pitoisuudet olivat samaa tasoa kuin syysvehnällä tai jopa hiukan pienempiä. Koejaksojen keskimääräinen fosforin suhteellinen pitoisuus oli 0,96. Eri koejaksoilla pitoisuudet vaihtelivat hiukan, mutta erot syysvehnään nähden olivat varsin pienet.

Suojakaistalla varustetun koeruudun valunnan partikkelifosforin pitoisuudet alenivat lähes yhtä paljon kuin sänkivaihtoehdossa. Keskimääräinen suhteellinen pitoisuus oli 0,49. Erot pysyivät selvinä syksystä kevääseen. Kun koeruudulla oli syysvehnä, siltä lähtevä valunta oli ominaisuuksiltaan samanlaista kuin perusruutujen valunta. Pitoisuuden muutos tapahtui valunnan virratessa suojakaistalla timotei-kasvuston läpi.

Taulukko 17. Viljelykäsittelyjen suhteellinen partikkelifosforin pitoisuus eri koejaksoilla

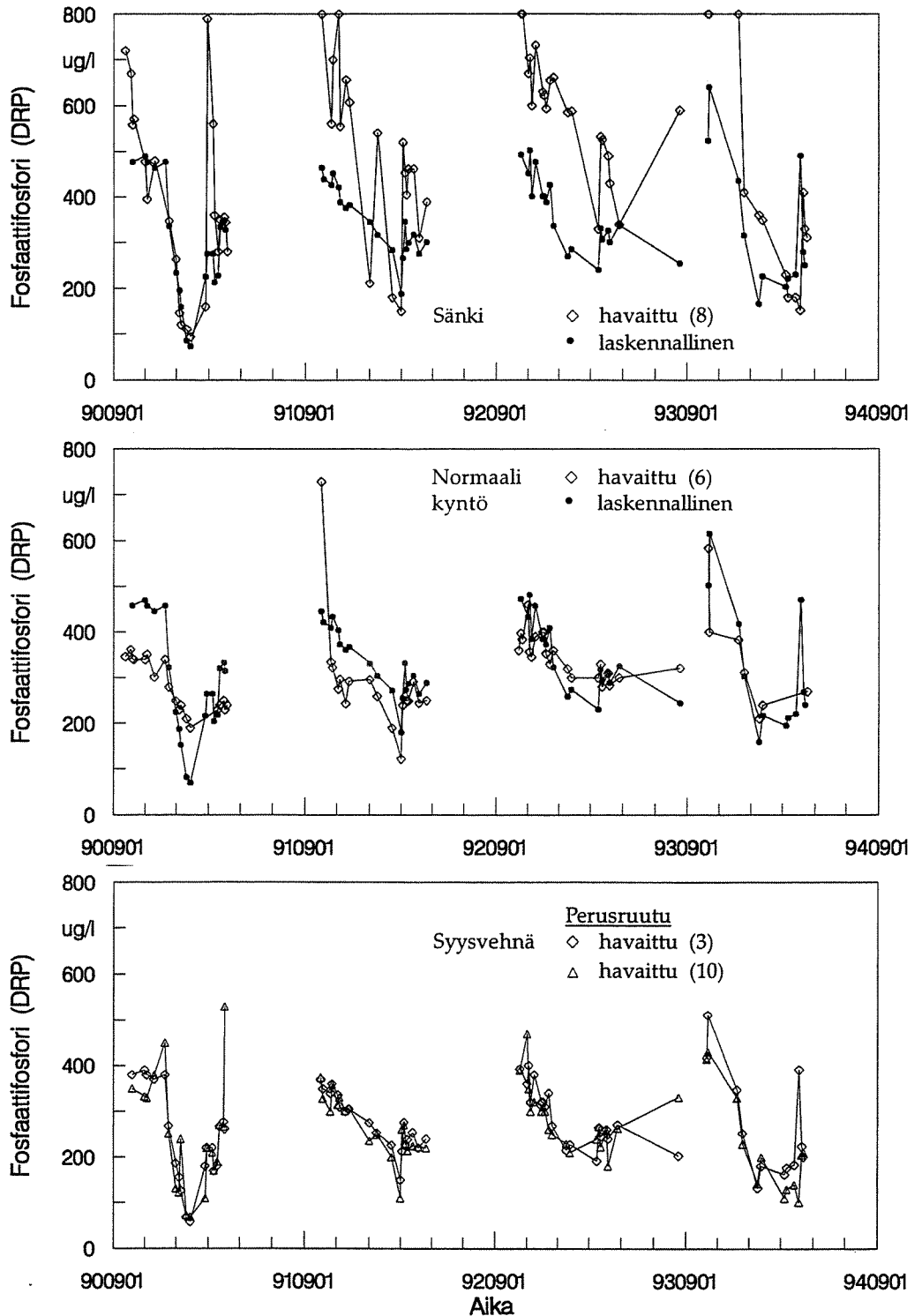
Käsittely	koejakso 90-91	koejakso 91-92	koejakso 92-93	koejakso 93-94	keskiarvo
syysvehnä	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
sänki	0,40	0,42	0,65	0,42	0,47
sänkimuokkaus	1,47	0,85	1,53	0,87	1,18
suojakaista	-	0,49	0,53	0,46	0,49
poikittainen kyntö	0,96	0,82	1,01	1,05	0,96
rinteen suuntainen kyntö	2,22	2,22	1,65	-	2,03



Kuva 25. Valunnan laskennallinen ja havaittu partikkelifosforipitoisuus eri käsittelyissä.

Muokkauskerroksen valunnan DRP-pitoisuus ei alentunut eri käsittelyissä samaan tapaan kuin esim. kiintoainepitoisuus. Sen sijaan se kohosi joissakin käsittelyissä (kuva 26).

Säikkikäsittelyssä valunnan DRP-pitoisuus alkoi kohota heti ensimmäisenä koevuonna, jolloin se oli runsas 10 % korkeampi kuin syysvehnällä. Toisesta koejaksosta lähtien pitoisuudet olivat vähintään 40 % korkeammat kuin syysvehnällä. DRP-pitoisuuden kohoaminen oli varsin voimakasta ja luonteeltaan pysyvää. Sängellä sen keskimääräinen suhteellinen pitoisuus koejaksoilla oli 1,41 (taulukko 18).



Kuva 26. Valunnan laskennallinen ja havaittu DRP-pitoisuus eri käsittelyissä.

Taulukko 18. Viljelykäsittelyjen suhteellinen DRP-pitoisuus eri koejaksoilla

Käsittely	koejakso 90-91	koejakso 91-92	koejakso 92-93	koejakso 93-94	keskiarvo
syysvehnä	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
sänki	1,13	1,45	1,64	1,40	1,41
sänkimuokkaus	1,62	1,62	1,76	1,49	1,62
suojakaista	-	1,20	1,12	1,09	1,14
poikittainen kyntö	1,18	1,23	1,20	1,21	1,21
rinteen suuntainen kyntö	1,20	0,94	1,07	-	1,07

Sänkimuokkauksessa DRP-pitoisuus nousi huomattavasti jo heti ensimmäisestä koejaksosta lähtien. Sen keskimääräinen suhteellinen pitoisuus oli koejaksoilla 1,62.

Suojakaistaruudulla valunnan DRP-pitoisuus kohosi myös, mutta kohoaminen ei ollut yhtä voimakasta kuin sängessä ja sänkimuokkauksessa. Keskimääräinen DRP-pitoisuus koejaksoilla oli 1,15.

Rinteen suuntaisessa kynnessä keskimääräinen pitoisuus oli 1,07 eli se oli jokseenkin samalla tasolla kuin syysvehnällä. Poikittain kynnetyillä ruuduilla keskimääräinen pitoisuus oli 1,20 eli tämä viittaa lievään pitoisuuden kohoamiseen suhteessa syysvehnään.

### 5.3.2 Fosforipitoisuuden poikkeamat

Syysvehnäruuduilla partikkelifosforin pitoisuuden ajallinen vaihtelu oli hyvin samanlaista. Koejaksoille lasketun regressiomallin kulmakerroin on lähes sama kuin perusjakson havainnoista lasketun mallin kulmakerroin (kuva 27). Vakiotermit poikkeavat hiukan toisistaan, mikä näkyy mallien tasoerona. Vakiotermin arvoon vaikuttaa kaksi koejakson poikkeavaa havaintoa. Havainnot ajoittuvat ensimmäisen koejakson joulukuulle, jota vastaava valunta oli alle 1 mm sekä toisen koejakson maaliskuuhun, jota vastaava valunta oli 5 mm. Valuntojen osuus po. koejaksojen valunnoista oli alle 2 %. Ilman poikkeamia koejakson malli ( $0,707 \cdot P_{10} + 282$ ) olisi lähes sama kuin perusjakson malli.

Koeruuduilla 4 ja 8 (sänkiruudut) partikkelifosforin vaihtelu oli samanlaista. Koejakson havainnosta lasketun mallin kulmakerroin on perusjakson mallin kulmakerrointa hiukan suurempi. Hajontakuviassa ei ole poikkeavia havaintoja.

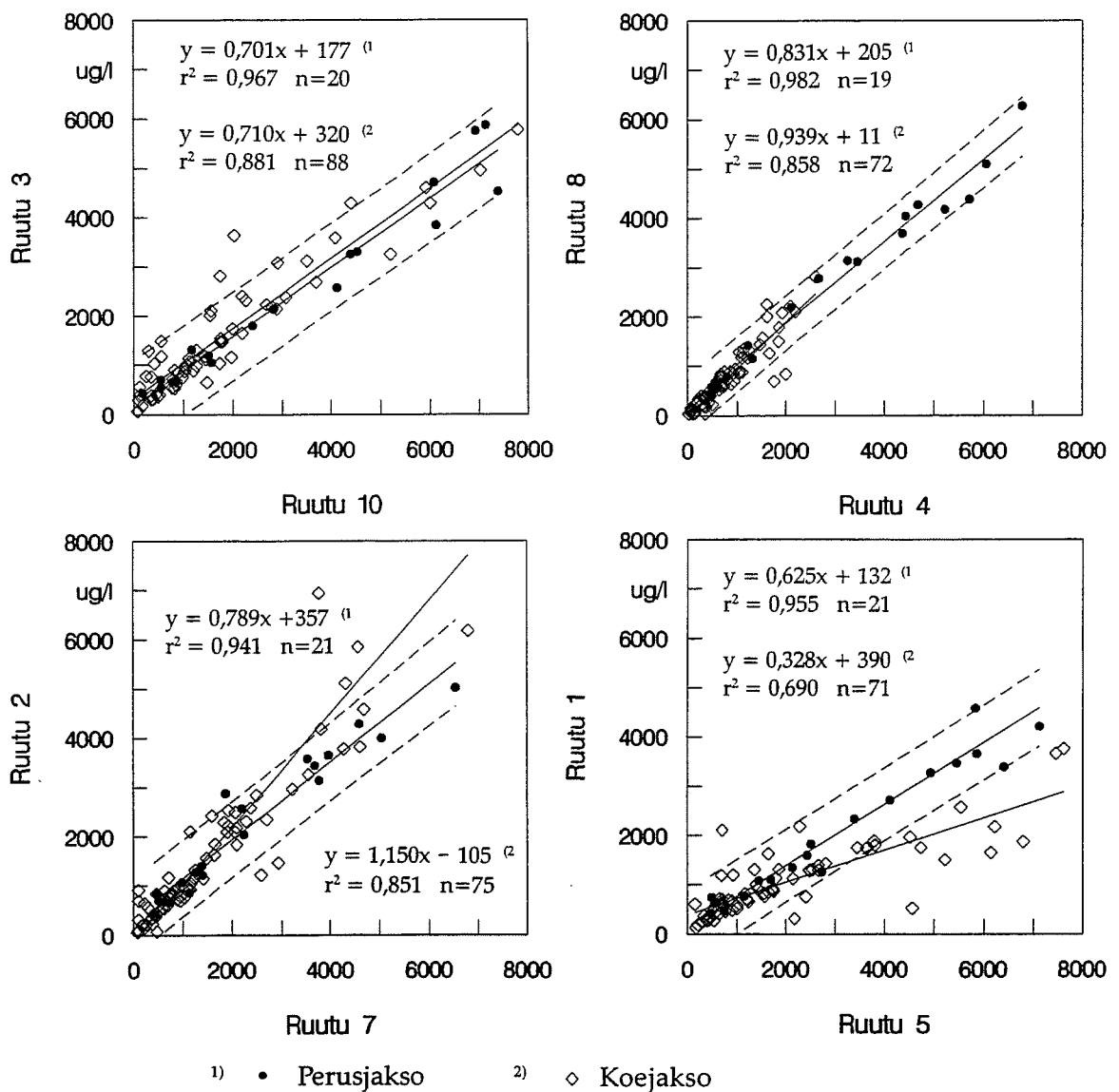
Ruuduilla 2 ja 7 (sänkimuokkaus) koejakson mallissa kulmakerroin on suurempi kuin perusjakson mallissa. Tässä mallit poikkeavat toisistaan. Ero johtuu partikkelifosforin kolmesta selvästi poikkeavasta havainnosta. Näistä kaksi poikkeamaa ovat ensimmäisen koejakson alusta syys-lokakuun vaihteesta. Havainnot vastaavat valunnat olivat alle 0,5 mm. Kauimmainen poikkeama on kolmannen koejakson joulukuulta, jota vastaava valunta oli alle 5mm. Ilman näitä havaintoja koejakson mallin ( $0,911 \cdot P_7 + 140$ ) kulmakerroin on oleellisesti lähempänä perusjakson mallia.

Ruuduilla 1 ja 5 (poikittainen kyntö) perusjakson ja koejaksojen mallit poikkeavat toisistaan (kuva 27). Kun perusjaksolla mallin selitysaste oli korkea, se heikkeni oleellisesti koejakson aikana. Kulmakertoimen poikkeaminen perusjakson tilanteesta saattaisi merkitä toisen koeruudun muutosta sen aikaisemmasta käyttäytymisessä. Tässä muutos on kiinteässä yhteydessä kiintoainepitoisuuden muutokseen. Poikkeavat havainnot ovat samat kuin kiintoainepitoisuuden poikkeamat.

DRP-pitoisuuden vaihtelua tutkittaessa perusjakson malleihin vakiotermin arvoksi asetettiin nolla, koska perusjaksolla pitoisuuksissa oli ajallista vaihtelua hyvin vähän. Muuten perusjakson ja koejakson pitoisuuksien vertailut tehtiin edellä esitettyyn tapaan.

Ruuduilla 3 ja 10 mallit poikkeavat hiukan toisistaan (kuva 28). Koejakson mallin poikkeama aiheutui pääosin kahdesta selvästi poikkeavasta havainnosta. Poikkeamat ajoittuivat ensimmäisen koejakson huhtikuulle (valunta 10 mm) sekä neljännen koejakson huhtikuulle, jolloin valunta oli huomattavan suuri, noin 45 mm. Neljännen koejakson suuri valunta yhdistettynä virheellisiin pitoisuuksiin aiheuttaa suuren virheen ao. jakson tuloksiin. Ilman poikkeamia koejakson mallissa ( $0,890 \cdot \text{DRP}_{10} + 37$ ) vakiotermi pienenee ja kulmakerroin kasvaa hyvin lähelle perusjakson mallia.

Ruuduilla 4 ja 8 perus- ja koejakson mallit ovat lähellä toisiaan. Koejaksolla pitoisuuksissa on hajontaa huomattavasti perusjaksoa enemmän ja selitysaste ( $r^2$ ) pienenee 0,836.



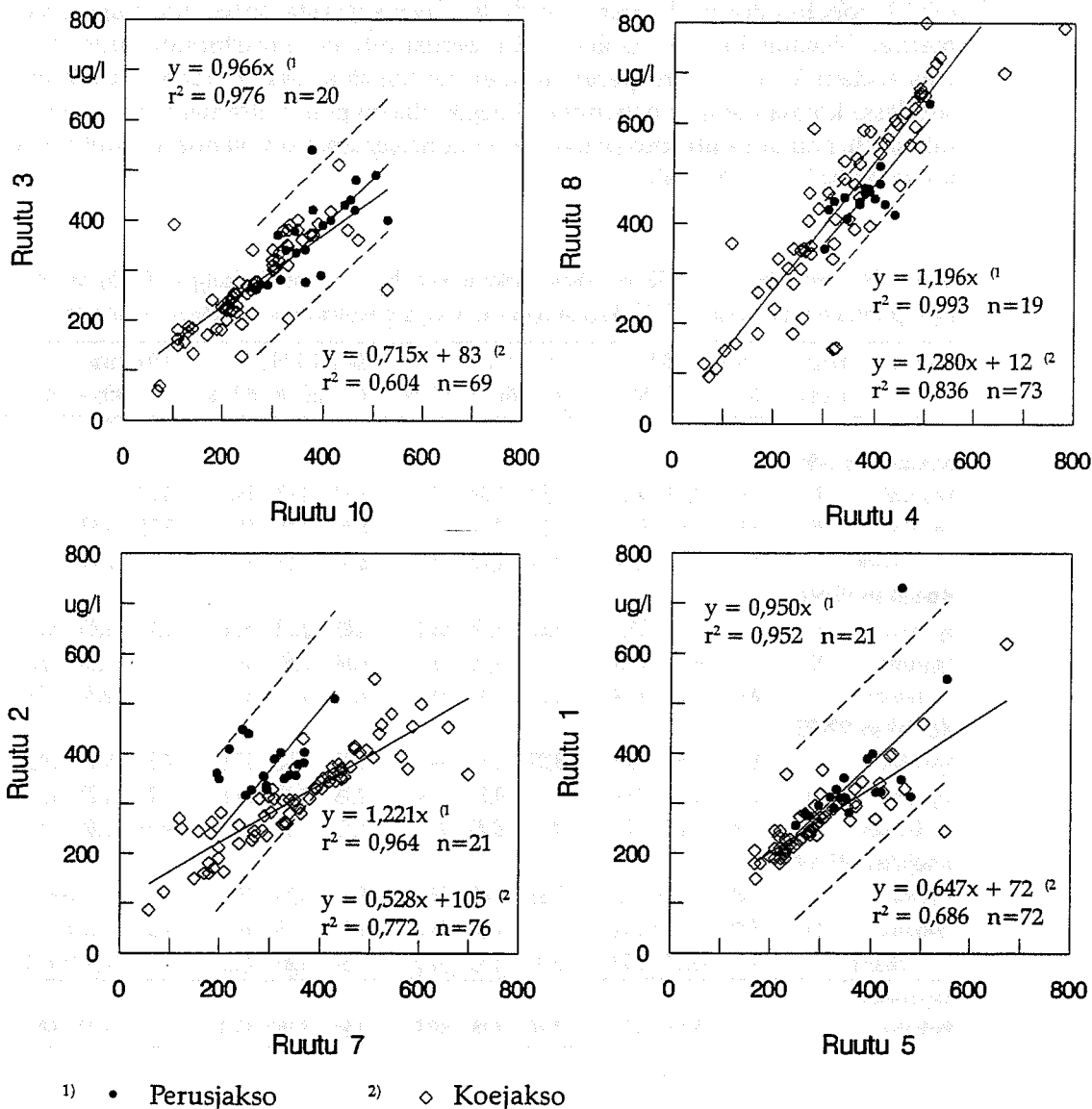
Kuva 27. Muokkauskerroksen valunnan partikkelifosforipitoisuuden vaihtelu kerranteilla perus- ja koejaksoilla (95 %:n luotettavuusrajat perusjakson regressiosuoralle).



Ruuduilla 2 ja 7 havainnot poikkeavat perus- ja koejaksoilla huomattavasti toisistaan (kuva 28). Koeruudulla 7 oli perusjaksolla viisi pitoisuudeltaan matalampaa havaintoa. Havainnot näkyvät hajontakuviossa perusjaksion poikkeamina. Perusjaksion ja koejaksion havainnot ilman em. havaintoja edelleenkin muodostavat kaksi toisistaan poikkeavaa joukkoa. Tämä aiheuttaa epävarmuutta ruuduilla 2 ja 7 tapahtuvien pitoisuuksien muutosten tulkinnoille.

Ruuduilla 1 ja 5 mallit ovat lähellä toisiaan (kuva 28), jos perusjaksion mallista jätetään yksi poikkeava havainto ( $P_5 \cdot 0,900$ ) ja koejaksion mallista yksi poikkeava havainto ( $0,790 \cdot P_5 + 49$ ). Em. poikkeamat ovat perusjaksion helmikuulta (valunta 12 mm) ensimmäisen koejaksion lokakuulta (valunta 2 mm).

Koejaksion poikkeavat havainnot jakaantuvat eri vuosille ja ne vaikuttavat lopputuloksiin vain yksittäisinä havaintosarjan pisteinä. Siten niiden vaikutus jää suhteellisen pieneksi. Kun perusjaksion havainnoissa ei ollut suuria poikkeamia, kalibrointimalleihin sisältyvä virhe jää partikkelifosforin osalta pieneksi. Liukoisin fosforin (DRP) kohdalla kalibrointimallit ovat heikommat pienen ajallisen vaihtelun vuoksi



Kuva 28. Muokkauskerroksen valunnan DRP-pitoisuuden vaihtelu kerranteilla perus- ja koejaksoilla (95 %:n luotettavuusrajat perusjaksion regressiosuoralle).

## 5.4 Valunnan typpipitoisuus

Perusruuduilla valunnan keskimääräinen nitraatti-nitriittitypen pitoisuus oli 3,3 mg l<sup>-1</sup> (taulukko 19). Kolmella ensimmäisellä koejaksolla keskimääräinen pitoisuus vaihteli 1,1 - 2,8 mg l<sup>-1</sup> ja neljännellä jaksolla keskimääräinen pitoisuus nousi 7,4 mg l<sup>-1</sup>. Pitoisuuden vaihtelu eri jaksoilla oli siten erittäin suuri.

Kokonaistypen pitoisuudet neljännen koejakson syksyllä jäivät analyysivirheiden vuoksi osin puutteellisiksi ja epäluotettavaksi, josta syystä ko. jakson keskiarvo on virheellinen (taulukko 19). Analyysitulokset osoittivat, että korkeat typpipitoisuudet olivat tuolloin lähes kokonaan nitraatti-nitriittityppeä. Keskimääräinen nitraatti-nitriittitypen osuus kokonaistypestä koejaksoilla oli 60,5 %.

### 5.4.1 Typpipitoisuus eri käsittelyissä

Nitraatti-nitriittipitoisuudet olivat syysvehnällä (perusruudut) pääsääntöisesti syksyllä korkeat, josta ne valunnan jatkuessa nopeasti alenivat talvea kohti ja kohosivat jälleen keväällä voimakkaasti. Poikkeuksena tässä oli kolmas koejakso (92-93), jolloin pitoisuudet perusruuduilla olivat syksystä lähtien koko ajan hyvin matalat. Neljännellä koejaksolla (93-94) perusruutujen nitraattipitoisuudet olivat taas erittäin korkeita. Ero perusruutujen keskimääräisessä nitraatti-nitriittipitoisuudessa kolmannella ja neljännellä koejaksolla oli noin seitsemänkertainen (taulukko 19). Nitraatti-nitriittitypen osuus kokonaistypestä syysvehnäruuduilla vaihteli eri jaksoilla 20-90 %:iin.

Taulukko 19. Muokkauskerroksen (0-30 cm) valunnan kokonaistypen (N<sub>tot</sub>) ja nitraatti-nitriittitypen (NO<sub>3</sub>-N) pitoisuus mg l<sup>-1</sup> ja nitraatti-nitriitin osuus (NO<sub>3</sub> %) kokonaistypestä eri vuosina ja vuodenaikoina syysvehnällä (peruskäsittely).

Koejakso	Perusruudut	Syksy 1.9-20.12			Talvi 21.12-28.2			Kevät 1.3-10.5			Koko jakso		
		N <sub>tot</sub>	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> %	N <sub>tot</sub>	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> %	N <sub>tot</sub>	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> %	N <sub>tot</sub>	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> %
<b>Koejakso 90-91</b>													
Syysvehnä	3	5,67	2,79	49,3	1,52	0,88	57,9	6,29	4,67	74,3	3,28	2,16	65,9
Syysvehnä	10	6,54	3,81	58,3	1,55	0,83	53,4	6,79	4,48	65,9	3,25	1,97	60,7
<i>Keskiarvo</i>		6,11	3,30	53,8	1,54	0,86	55,7	6,54	4,58	70,1	3,27	2,07	63,3
<b>Koejakso 91-92</b>													
Syysvehnä	3	6,02	3,61	59,9	1,87	1,19	63,6	3,85	2,38	61,8	3,92	2,40	61,2
Syysvehnä	10	7,57	4,92	64,9	3,50	1,65	47,1	4,18	2,85	68,3	4,91	3,08	62,7
<i>Keskiarvo</i>		6,80	4,27	62,4	2,69	1,42	55,4	4,01	2,62	65,1	4,42	2,74	62,0
<b>Koejakso 92-93</b>													
Syysvehnä	3	5,32	0,81	15,3	3,87	0,64	16,6	4,28	1,22	28,5	4,52	0,92	20,3
Syysvehnä	10	6,63	1,30	19,6	4,30	0,92	21,4	4,75	1,40	29,6	5,26	1,23	23,4
<i>Keskiarvo</i>		5,98	1,06	17,5	4,09	0,78	19,0	4,52	1,31	29,1	4,89	1,08	21,9
<b>Koejakso 93-94</b>													
Syysvehnä	3	11,88	12,78	>95,0	2,55	1,49	58,6	5,54	4,39	79,2	7,06	6,71	>95,0
Syysvehnä	10	11,96	17,70	>95,0	2,34	1,80	76,8	3,60	3,35	93,1	7,37	8,12	>95,0
<i>Keskiarvo</i>		-	15,24	>95,0	2,45	1,65	67,7	4,57	3,87	86,2	-	7,41	>95,0
<b>Koejaksojen keskiarvo</b>													
		-	5,97	57,2	2,70	1,18	49,5	4,90	3,10	63,4	-	3,33	60,5

Suojakaistaruudulla koejaksojen kokonaistypen pitoisuus oli keskimäärin 0,51 (taulukko 20) ja suhteellinen nitraatti-nitriittipitoisuus 0,33 (taulukko 21). Suojakaistaruudulla pitoisuuksien ero kolmannella ja neljännellä koejaksolla oli samanlainen kuin syysvehnällä, runsas seitsemänkertainen. Tämä nitraatti-nitriittityypen pitoisuuksien voimakas muutos kolmannelta jaksolta neljännelle jaksolle johtui ilmeisesti syysvehnän orastumisen vaiheista. Orastuminen kolmannen koejakson syksyllä oli erittäin hyvä ja neljännen koejakson syksyllä heikko. Em. syistä kolmannella jaksolla valunnan nitraatti-nitriittipitoisuus syysvehnäruuduilla oli matala ja neljännellä jaksolla valunnan kokonaistypestä pääosa oli nitraatti-nitriittityyppiä. Suojakaistalla nitraatti-nitriittipitoisuuden osuus oli syksyisin pienempi kuin syysvehnällä ja muina vuodenaikoina sama. Keskimäärin sen osuus oli 51,2 %, mutta vaihteli, huomattavasti eri jaksoilla huomattavasti (liite 10).

Sänkiruuduilla koejaksojen kokonaistypen pitoisuus oli keskimäärin 0,62 ja suhteellinen nitraatti-nitriittipitoisuus 0,37. Käsittelylle oli luonteenomaista se, että nitraatti-nitriittipitoisuuksien kausi- ja vuosivaihtelut olivat pieniä. Korkeita pitoisuuspiikkejä ei ollut lainkaan (kuva 30). Kokonaistypen pitoisuus käyttäytyi samalla tavalla (kuva 29). Sänkiruuduilla liukoisen typen osuus vaihteli vähemmän kuin syysvehnällä. Huomattavaa oli se, että sängeltä tulevassa syysvalunnassa liukoisen typen osuus oli selvästi muita käsittelyjä pienempi (liite 10). Siten sänkiruuduilla liukoisen typen osuus kokonaistypestä jäi muita pienemmäksi. Keskimäärin se oli koejaksoilla 38,5 %.

Sänkimuokkausruuduilla koejaksojen kokonaistypen pitoisuus oli keskimäärin 0,96 (taulukko 20) ja suhteellinen nitraatti-nitriittipitoisuus 0,88 (taulukko 21). Eri koejaksoilla pitoisuudet olivat hyvin samanlaiset lukuunottamatta kolmatta koejaksoa (92-93), jolloin suhteellinen pitoisuus oli syysvehnään nähden yli kaksinkertainen. Kolmannella koejaksolla sänkimuokkaus tehtiin tavanomaista sänkimuokkausta selvästi voimakkaammin, mikä mahdollisesti lisäsi typen huuhtoutumista. Muutoin sänkimuokkauksessa nitraatti-nitriittipitoisuudet alenivat kolmanteen osaan syysvehnään nähden. Liukoisen typen osuus sänkimuokkauksessa oli keskimäärin 54 %.

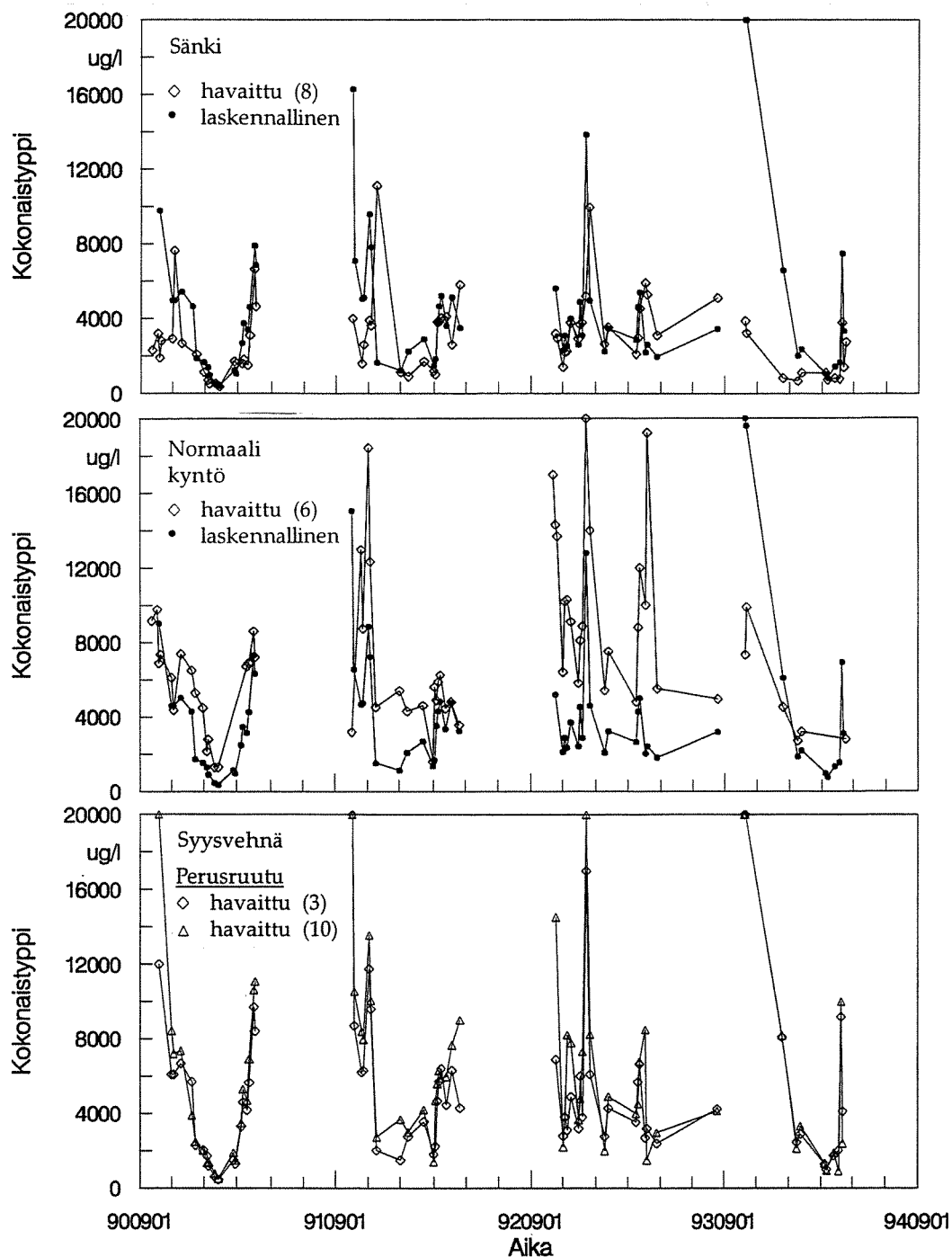
Rinteen suuntaisesti kynnetyn koeruudun kokonaistypen pitoisuus oli keskimäärin 2,06 ja suhteellinen nitraatti-nitriittipitoisuus 2,71. Poikittain kynnetyillä ruuduilla nitraatti-nitriittipitoisuus oli 1,33 ja kokonaistypen pitoisuus 1,00. Kynnetyillä ruuduilla pitoisuusvaihtelussa eri vuodenaikoina ei ollut selvää säännöllisyyttä. Voimakkaasti muokatulla maalla valunnan pitoisuuksia säätelee ilmeisimmin maan typpivarastojen mineralisoituminen. Tähän viittaavat kolmannen koejakson pitoisuudet. Olosuhteissa, jossa syysvehnän orastuminen ja oraan kasvu on voimakasta, myös typen mineralisoituminen on ilmeisesti voimakasta. Tämä näkyi juuri muokatuilla, kasvustosta vapaana olevilla ruuduilla korkeina valunnan pitoisuuksina. Liukoisen typen osuus kokonaistypestä oli rinteen suuntaisessa kynnössä keskimäärin 49,7 % ja poikittain kynnetyssä 58,3 % (liite 10).

Taulukko 20. Viljelykäsittelyjen suhteellinen kokonaistyyppipitoisuus eri käsittelyissä

Käsittely	koejakso	koejakso	koejakso	koejakso	keskiarvo
	90-91	91-92	92-93	93-94	
syysvehnä	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
sänki	0,69	0,69	0,85	0,23	0,62
sänkimuokkaus	1,06	0,86	1,65	0,27	0,96
suojakaista	-	0,65	0,55	0,35	0,52
poikittainen kyntö	1,21	0,85	1,53	0,40	1,00
rinteen suuntainen kyntö	1,91	1,55	2,72	-	2,06

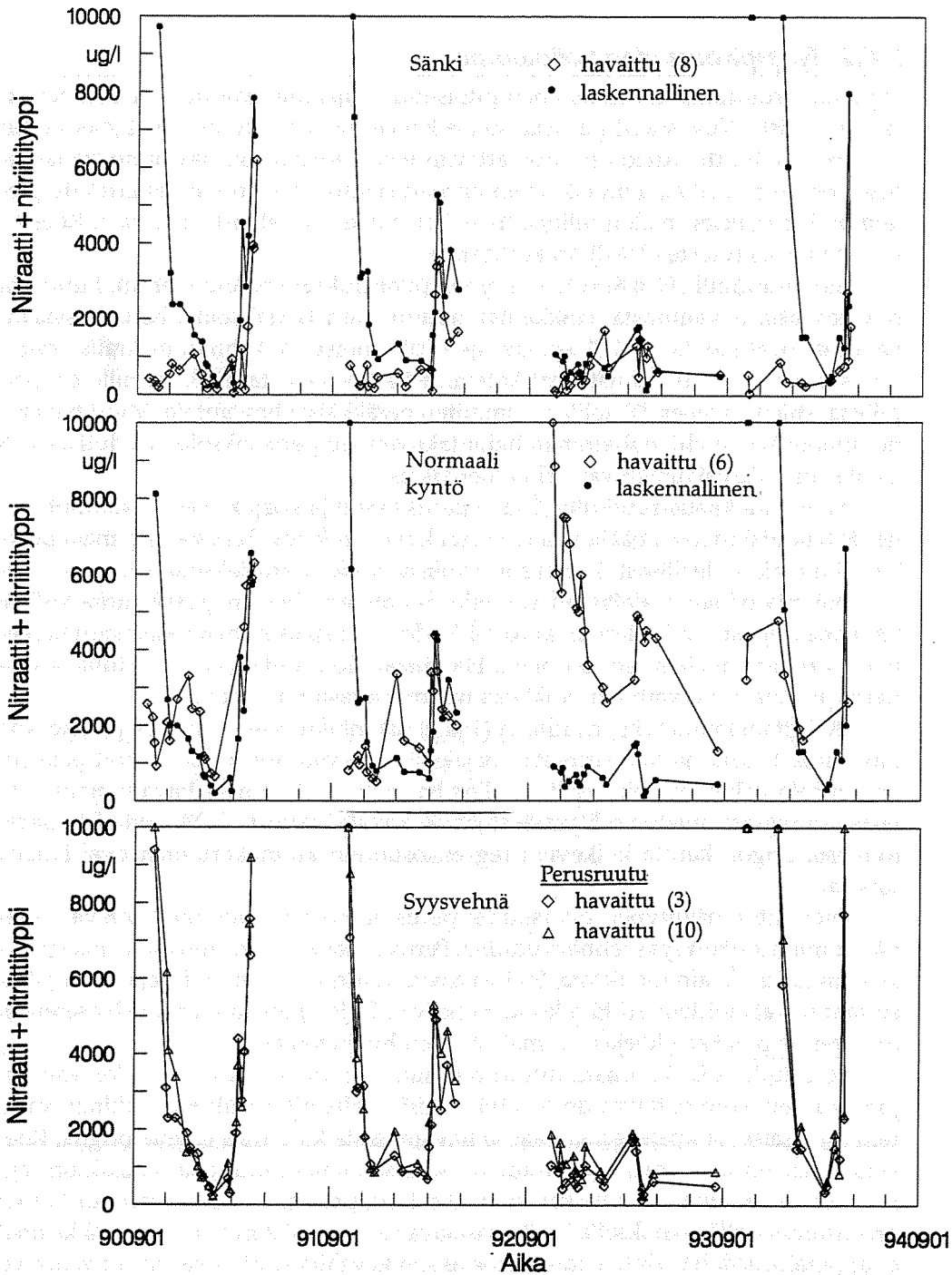
Taulukko 21. Viljelykäsittelyjen suhteellinen nitraatti-nitriittipitoisuus ero koejaksoilla.

Käsittely	koejakso 90-91	koejakso 91-92	koejakso 92-93	koejakso 93-94	keskiarvo
syysvehnä	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
sänki	0,44	0,37	0,60	0,08	0,37
sänkimuokkaus	0,63	0,41	2,35	0,14	0,88
suojakaista	-	0,45	0,25	0,28	0,33
poikittainen kyntö	1,09	0,69	3,29	0,26	1,33
rinteen suuntainen kyntö	1,60	0,78	5,74	-	2,71



Kuva 29. Valunnan laskennallinen ja havaittu kokonaistypen pitoisuus eri käsittelyissä.

Kynnettyjen koeruutujen typpipitoisuudet vaihtelivat eri vuosina erittäin paljon. Erityisesti kolmannen koivuoden nitraattipitoisuudet suhteessa syysvehnään olivat erittäin suuret, poikittain kynnetyillä koeruuduilla 3,3-kertainen ja normaalisti kynnetyillä koeruudulla 5,8-kertainen. Suuri ero edellisiin vuosiin nähdä viittaa kynnetyillä maalla typen voimakkaaseen mineralisaatioon talvikaudella, mikä oli poikkeuksellisen leuto. Tällöin osa suhteellisesta erosta johtuu syysvehnärüuduilta tulleen valunnan pienistä nitraattipitoisuuksista vaikka kokonais-typpipitoisuus oli samaa tasoa kuin edeltävillä kausilla.



Kuva 30. Valunnan laskennallinen ja havaittu nitraatti-nitriittitypen pitoisuus eri käsittelyssä.

Eri käsittelyt vaikuttavat voimakkaasti muokkauskerroksen valunnan tyypipitoisuuksiin. Vuodenaikais- ja vuosivaihtelut poikkeavat eri käsittelyissä toisistaan niin paljon, että ajoittain muutokset ovat toisiinsa nähden vastakkaisia. Tätä vaihtelua tapahtui myös syysvehnällä (peruskäsittely). Tutkittavan menetelmän suhteellinen muutos saattakin ajoittain johtua perusmenetelmän pitoisuuden muutoksesta. Esim. kolmannella koejaksolla sängessä ero syysvehnään nähden oli selvästi pienempi kuin muilla jaksoilla. Myös sänkimuokkauksessa kolmantena koevuonna korkea suhteellinen pitoisuus osin johtui syysvehnän alentuneesta pitoisuudesta. Pääosin muutos aiheutui kuitenkin liian raskaasta sänkimuokkauksikäsitelystä. Tätä voimakkaammassa käsittelyssä, kynnessä, pitoisuudet olivat vieläkin korkeammat.

#### **5.4.2 Tyypipitoisuuden poikkeamat**

Syysvehnäruuduilla kokonaistypen pitoisuuden ajallinen vaihtelu ei ollut täysin samanaikaista. Kuvassa 31 perusjakson ja koejaksojen havainnot ovat jokseenkin päällekkäin, mutta kuvio on huomattavan leveä. Koejakson havainnoista laskeutussa regressiomallissa kulmakerroin on perusjakson mallin kulmakerrointa pienempi. Perusjakson mallin selitysaste (0,701) poikkeaa selvästi arvosta 1. Koejakson mallin selitysaste (0,948) on korkeampi.

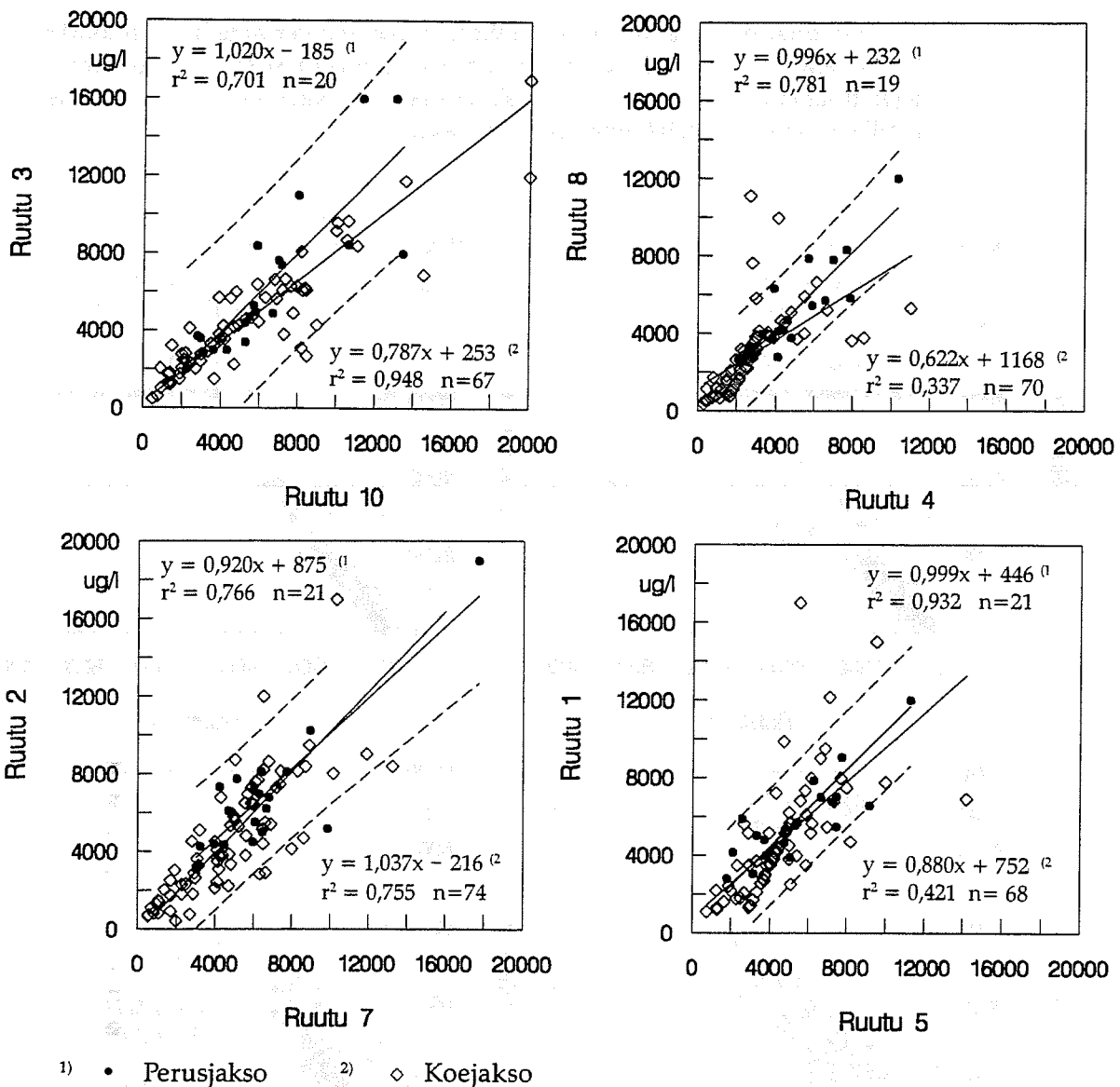
Sänkiruuduilla (4 ja 8) kokonaistypen pitoisuuksien hajonta johtuu kuudesta poikkeavasta havainnosta. Poikkeamat ajoittuvat eri koejaksoille. Niitä vastaavat valunnat ovat pieniä, 2-14 % ko. jaksojen valunnoista. Valunnan määrällä arvioiden suurimmat poikkeamat ovat kolmannelta koejaksolta. Poikkeamille on tyyppillistä, että ne ovat eri jaksoilla useimmiten peräkkäisiä havaintoja. Muut havainnot muodostavat yhtenäisemmän hajontakuvion. Jo perusjaksolla ruuduilla 4 ja 8 (sänkiruuduilla) ajallinen vaihtelu oli eriaikaista

Sänkimuokkaus-ruuduilla (2 ja 7) perusjakson ja koejaksojen havainnot menevät hajontakuviossa päällekkäin, mutta kuvio on leveä. Perusjakson malli poikkeaa kuitenkin oleellisesti koejakson mallista, koska perusjaksolla ruutujen välinen hajonta oli suuri ajalliseen vaihteluun nähden. Siten regressiosuora kulkisi kaukana origosta (vakiotermin arvo 3 400). Jos perusjakson malli asetetaan kulkemaan origosta, mallien ero on pieni. Hajontakuvio osoittaa, että ruuduilla kokonaistypen ajallinen vaihtelu poikkeaa huomattavasti toisistaan.

Poikittain kynnetyillä ruuduilla (1 ja 5) hajontakuviossa on kaksi poikkeavaa havaintoa toiselta ja kolmannelta koejaksolta. Havainnot muodostavat päällekkäisen hajontakuvion, joka sisältää paljon hajontaa. Molemmista havaintojoukoista lasketun regressiomallin selitysasteet jäävät kauaksi arvosta 1. Molemmista pistejoukosta origon kautta kulkevien regressiosuorien kulmakertoimet ovat lähellä toisiaan.

Nitraatti-nitriittityypen pitoisuudet perus- ja koejaksoilta muodostavat yhtenäisemmän joukon syysvehnäruuduilla. Perusjaksolta on yksi havainto, joka poikkeaa muusta havaintojoukosta. Sitä vastaava valunta oli 3 mm. Koejaksolla pitoisuudet olivat ajoittain erittäin korkeita (kuva 32). Jos perusjakson malli asetetaan origoon, se poikkeaa koejakson mallista vain hyvin vähän.

Ruuduilla 4 ja 8 nitraatti-nitriittipitoisuudet muodostavat hyvin kapean hajontakuvion. Huomattavaa on se, että perusjaksolla pitoisuuksien ajallinen vaihtelu on tasaista ja koejaksoilla pääosa havainnoista kasautuu lähelle origoa. Koejakson havainnoista neljä havaintoa on sellaista, jotka muuttavat koejakson regressiosuoran kulmakerrointa suuremmaksi kuin perusjaksolla. Havainnoista yksi on ensimmäisellä koejaksolla ja sitä vastaava valunta oli 2 mm. Loput poikkeamat ovat peräkkäistä havaintoja toisen koejakson keväältä ja niitä vastaavat valunnat yhteensä 20 mm.

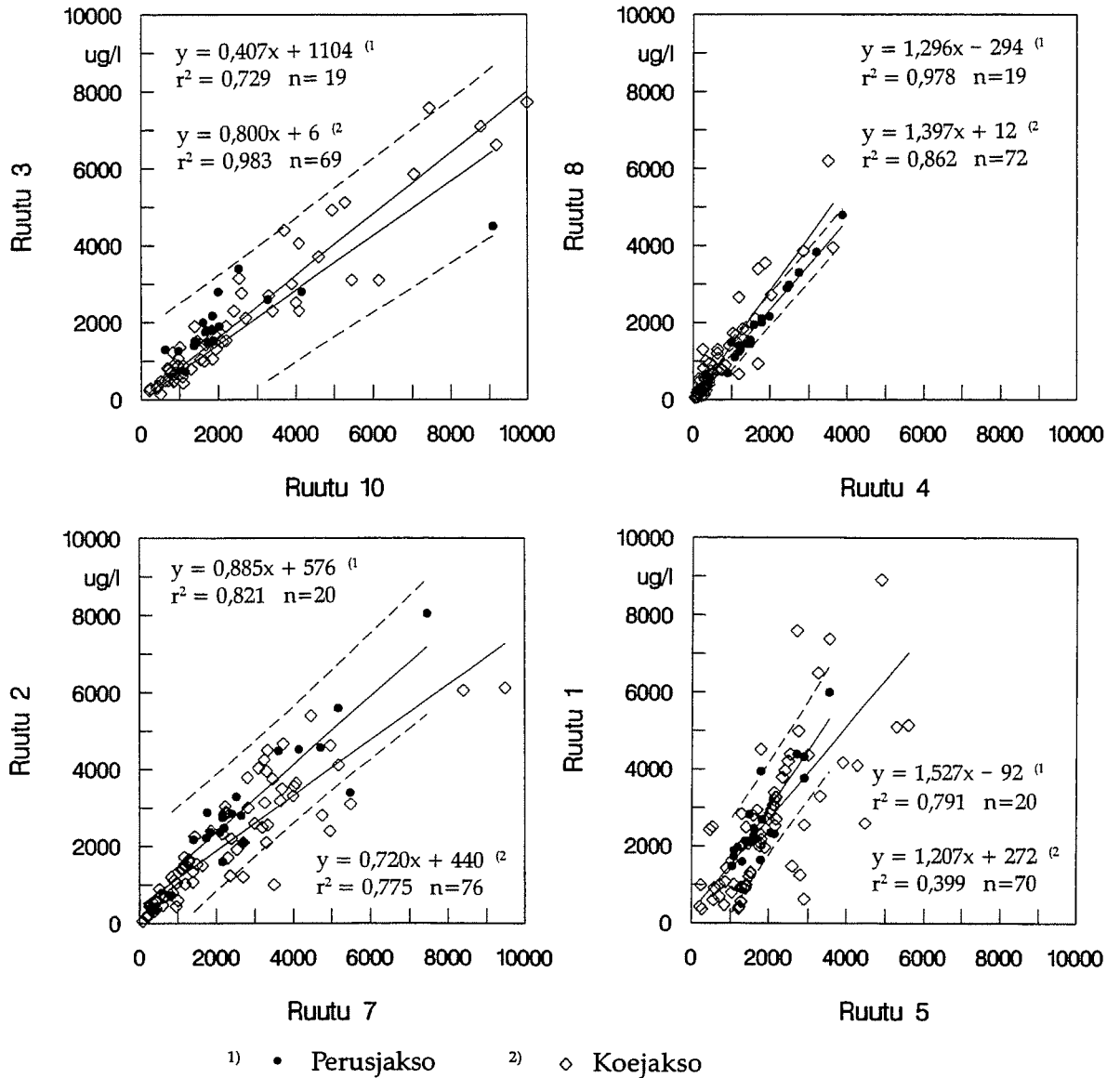


Kuva 31. Valunnan kokonaistypen vaihtelu kerranteilla (95 %:n luotettavuusrajat perusjakson regressiosuoralle).

Ruuduilla 2 ja 7 perusjakson ja koejaksojen nitraattihavainnot muodostavat osittain päällekkäisen hajontakuvion. Koejaksojen havainnoista viisi sijoittuvat hajontakuvion alareunaan. Poikkeamista kaksi on ensimmäisen koejakson keväältä ja niitä vastaava valunta 11,5 mm ruudulla 7 ja 36,5 mm ruudulla 2. Tässä ruudun kaksi suuri valunta on peräisin viereiseltä poikittain kynnetyltä ruudulta. Kaksi poikkeamaa on toisen koejakson maaliskuulta ja niitä vastaava valunta 9 mm ruudulla 7 ja 15 mm ruudulla 2. Yksi poikkeama on neljännen koejaksolta ja sitä vastaava valunta 0,5 mm molemmilla ruuduilla.

Ruuduilla 1 ja 5 koejaksoilla nitraattityypen pitoisuuksissa on huomattavasti suurempi hajonta kuin perusjaksolla. Hajontakuviossa koejakson havainnot sijoittuvat perusjakson havaintojen molemmille puolille, mikä kuvaa pitoisuuksien satunnaista hajontaa ( $r^2=0,399$ ). Tämä ilmeisimmin johtuu käsittelyn radikaalisuudesta (poikittainen kyntö), jolloin valunnan pitoisuuksien vaihtelut ovat hyvin suuria ja sattumanvaraisia.

Kokonaistypen ja nitraatti-nitriittitypen hajonta kerranteilla oli huomattavasti runsaampaa kuin edellä käsitellyissä muissa pitoisuuksissa. Tästä johtuen käsittelyjen aiheuttamia pieniä muutoksia ei saada lainkaan esille. Toisaalta pienillä eroilla ei liene juuri käytännön merkitystään.



Kuva 32. Valunnan nitraatti-nitriittitypen vaihtelu kerranteilla (95 %:n luotettavuusrajat perusjakson regressiosuoralle).



# Viljelykäytäntö ja hajakuormituksen vähentäminen

# 6

## 6.1 Hajakuormitus peltoviljelyssä

Peltoviljelyn aiheuttama hajakuormitus on monivaiheinen prosessi, joka riippuu viljelytoimien lisäksi luonnon omista tekijöistä. Pelloilta tulevasta kuormituksesta osa on ns. luonnonkuormitusta. Luonnonkuormitus riippuu maaperän luontaisista ominaisuuksista ja voi siten vaihdella olosuhteiden mukaan. Kun pelloilta lähtöisin oleva kuormitus tulee veden mukana lukuisia eri reittejä pitkin, ei hajakuormituksen tasosta erilaisissa maaperä ja viljelyolosuhteissa ole selvää kuvaa.

Aurajoen koekentällä mitattua kuormitusta ei voida käyttää yleisesti peltoaluiden kuormitusarvoina monestakaan syystä. Kentän pituus on normaalipeltoa lyhyempi ja toisaalta koekentän kaltevuus on tasainen koko koekentän pituudelta. Kalteville peltokuvioille on kuitenkin ominaista kaltevuuden vaihtelu kuvion eri osissa. Toisaalta koekenttä on suunniteltu viljelykäytäntöjen vertailujen tekemiseen eikä varsinaisen kuormitustason tutkimiseen.

Koekentän kuormituksen perusteella voidaan tehdä karkeita arvioida vastaavanlaisten peltujen kuormituksesta ja toisaalta arvioida kuormituksen vuosivaihtelua. Vuosivaihtelua tarkasteltiin syysvehnältä, rinteän suuntaisesti kynnetyltä ruudulta ja sängeltä mitatun kuormituksen perusteella.

### 6.1.1 Kuormituksen vuosivaihtelu

Eroosio vaihteli syysvehnällä eri jaksoilla 800 kg:sta 2600 kg:aan ja rinteän suuntaisesti kynnetyllä ruudulla 1700 kg:sta 3300 kg:aan hehtaarilta. Suurimman ja pienimmän eroosiokuorman ero oli syysvehnällä yli kolminkertainen ja kynnetyllä ruudulla kaksinkertainen.

Kokonaisfosforia (part. P + DRP) huuhtoutui syysvehnältä eri jaksoilla 1,6 kg:sta 5,4 kg:aan hehtaarilta ja rinteän suuntaisesti kynnetyltä ruudulta 3,30 kg:sta 6,60 kg:aan hehtaarilta. Syysvehnällä ero oli suurimmillaan yli kolminkertainen ja kynnetyllä ruudulla kaksinkertainen.

Fosfaattifosforia (DRP) huuhtoutui syysvehnältä eri jaksoilla 0,41-0,69 kg hehtaarilta ja rinteän suuntaisesti kynnetyltä ruudulta 0,49 kg:sta 0,65 kg:aan. DRP:n osuus kokonaisfosforista vaihteli syysvehnällä 10 %:sta 30 %:iin ja rinteän suuntaisesti kynnetyllä ruudulla 9 %:sta 25 %:iin. DRP:n huuhtoutumien ero eri jaksoilla oli varsin pieni.

Kokonaistyppeä huuhtoutui syysvehnältä eri jaksoilla 7,7 kg:sta noin 16 kg:aan hehtaarilta ja nitraatti-nitriittityppeä 1,7 kg:sta 15,6 kg:aan. Rinteän suuntaisesti kynnetyltä ruudulta huuhtoutui kokonaistyppeä runsaasta 9 kg:sta runsaaseen 19 kg:aan hehtaarilta ja nitraattinitriittityppeä runsaasta 4 kg:sta 10 kg:aan hehtaarilta. Eri jaksoilla huuhtoutuneen kokonaistypen ero oli enimmillään yli kaksinkertainen.

Taulukko 22. Eroosio ja ravinteiden huuhtoutuminen muokkauskerroksen valunnassa eri koeruuduilla ja käsittelyissä perus- ja koejaksoilla (<sup>1</sup>) valuntaa viereiseltä ruudulta, keskiarvo perusuuduilta).

Käsittely	Ruutu	Valunta mm	Kuormitus (kg ha <sup>-1</sup> )		DRP (ka)	N <sub>tot</sub> (ka)	NO <sub>3</sub> -N (ka)
			Eroosio (ka)	P <sub>part</sub> (ka)			
<b>Perusjakso 89-90</b>							
Syysvehnä	8	174	1860	3,57	0,81	7,20	3,15
Syysvehnä	2	162	1440	2,74	0,61	8,45	4,67
Syysvehnä	6	112	1645	2,98	0,50	4,16	1,44
Syysvehnä	1	211	2130	3,94	0,73	10,65	5,20
Syysvehnä	3	131	1990	3,54	0,63	6,88	2,85
Syysvehnä	10	195	3300 (2645)	5,85 (4,70)	0,74 (0,69)	9,00 (7,94)	3,50 (3,18)
<b>Koejakso 90-91</b>							
Sänki	8	183	415	0,67	0,52	4,27	2,17
Sänkimuokkaus	7	190	1015	1,75	0,47	6,23	3,25
Sänkimuokkaus	2	<sup>1</sup> 287	1275	2,78	0,68	9,86	5,40
Normaali kyntö	6	194	1690	2,78	0,49	9,29	5,69
Poikittainen kyntö	1	113	490	0,93	0,24	5,20	3,12
Syysvehnä	9	170	730	1,18	0,30	5,82	3,89
Syysvehnä	3	225	980	1,89	0,43	7,39	4,87
Syysvehnä	10	244	1005 (995)	1,71 (1,80)	0,42 (0,43)	7,95 (7,67)	4,82 (4,85)
<b>Koejakso 91-92</b>							
Sänki	8	189	545	0,96	0,81	5,34	2,09
Sänkimuokkaus	7	195	1105	1,84	0,65	6,96	2,88
Sänkimuokkaus	2	<sup>1</sup> 390	2235	4,06	1,23	9,97	4,09
Suojakaista	9	148	650	1,01	0,40	4,14	2,04
Normaali kyntö	6	219	3325	6,07	0,58	11,50	4,12
Poikittainen kyntö	1	127	605	1,00	0,31	3,85	1,87
Syysvehnä	3	214	1725	2,88	0,54	8,37	5,12
Syysvehnä	10	257	2610 (2170)	4,38 (3,63)	0,60 (0,57)	12,59 (10,48)	7,90 (6,51)
<b>Koejakso 92-93</b>							
Sänki	8	226	1370	2,81	1,33	7,62	1,78
Sänkimuokkaus	7	242	3110	5,82	1,05	18,34	8,59
Sänkimuokkaus	2	261	2750	5,70	0,91	21,21	9,18
Suojakaista	9	82	470	0,84	0,23	2,18	0,25
Normaali kyntö	6	193	2960	5,37	0,65	19,37	10,06
Poikittainen kyntö	1	132	973	1,70	0,36	10,81	6,98
Syysvehnä	3	136	1395	2,63	0,37	6,16	1,25
Syysvehnä	10	168	2090 (1745)	3,84 (3,24)	0,45 (0,41)	8,86 (7,51)	2,07 (1,66)
<b>Koejakso 93-94</b>							
Sänki	8	151	225	0,36	0,62	1,91	1,05
Sänkimuokkaus	7	203	540	0,84	0,66	3,81	2,96
Sänkimuokkaus	2	224	770	1,27	0,64	4,27	3,27
Suojakaista	9	130	211	0,31	0,31	3,24	3,00
Poikittainen kyntö	1	79	384	0,53	0,19	1,94	1,20
Syysvehnä	3	188	1010	1,50	0,49	13,27	12,61
Syysvehnä	10	228	610 (810)	0,74 (1,12)	0,47 (0,48)	(16,83)	- 18,54 (15,58)

Sängessä maanpinnan ominaisuudet olivat eri koejaksoilla tasaisimmat eli käsittelyn sisäinen vaihtelu oli pieni. Siten koejaksojen erot aiheutuivat sängessä selvimmän hydrologisista tai hydrologiaan liittyvistä tekijöistä. Kun valuntojen ero sängessä oli enimmillään 1,5-kertainen, eroosio oli enimmillään 6-kertainen, kokonaisfosfori yli nelinkertainen ja kokonaistyyppi lähes nelinkertainen.

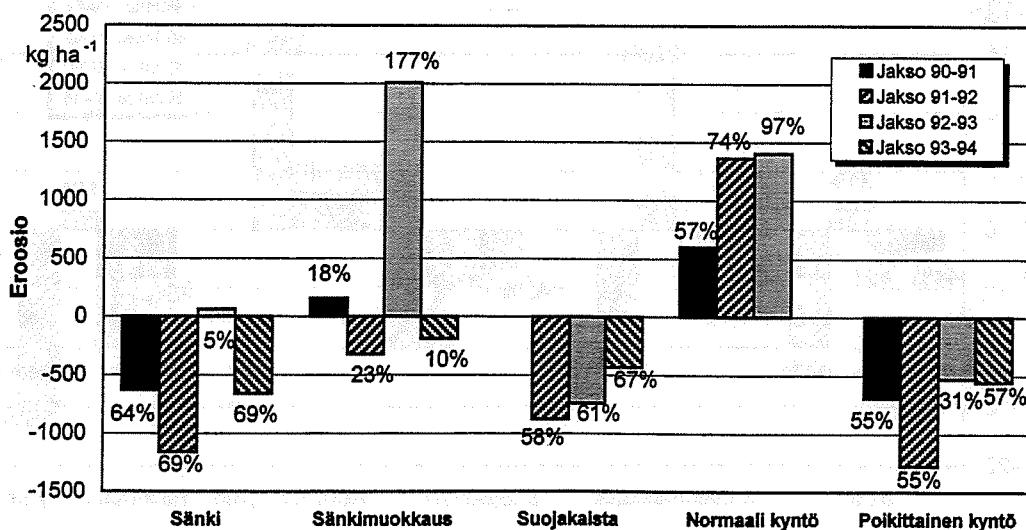
Käsittelyjen suuret kuormitusvaihtelut eri koejaksoilla johtuivat suuresta pitoisuuksien vaihtelusta. Vaikka peräkkäisinä vuosina valunnat olisivat määrällisesti samanlaisia, eroosio ja fosforin kuormitus saattavat jopa kaksinkertaistua. Koekentän kaltaisissa hyvin äärevissä olosuhteissa maanpinta on herkkä valunnan pitoisuuksia lisäävien hydrologisten tekijöiden vaikutuksille ja ilmiö korostuu. Valuma-alueiden kuormituksen vuosivaihtelua tasoittaa ilmeisesti valuma-alueen vaihtelevat ominaisuudet ja maankäyttömuodot, jolloin pitoisuudet ovat tasaisempia. Kuormituksen vuosivaihtelut johtuvat tällöin pääosin valunnan vuosivaihtelusta.

Muokkauskerroksen valunnan pitoisuuksiin vaikuttavista tekijöistä keskeisiä ovat valunnan jakautuminen muokkauskerroksessa, routa ja lämpötila. Roustaantuneella maalla eroosiossa on yleensä vähäistä. Eroosion kannalta ratkaisevaa on valunnan ajoittuminen roudan sulantaan nähden. Koejaksoille oli ominaista talvijaksojen (21.12.-28.2.) runsaat valunnat, jotka ajoittain olivat hyvin runsaita samalla kun maa oli roudassa. Lämpötila vaikuttaa taas typen mineralisaation ja nitraatin huuhtoutumiseen syksyllä. Tässä keskeisenä tekijänä on lämpimän syyskauden pituus.

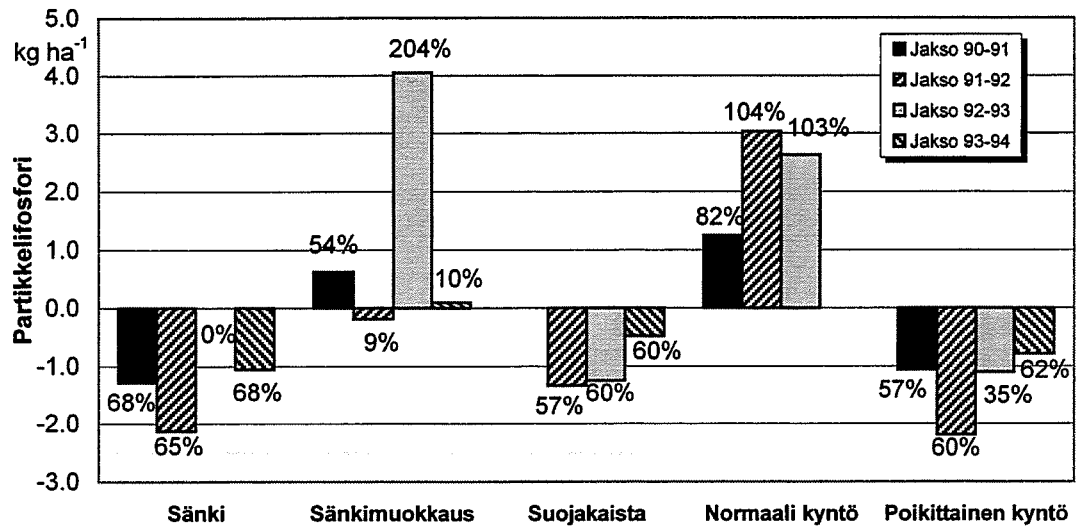
Koekentältä huuhtoutuneen kokonaisfosforin määrä (syysvehnä ja normaali kyntö) oli moninkertainen Kaupin (1984) ja Rekolaisen (1992) esittämiin kuormituslukuihin nähden. Typpihuuhtoutumat olivat tasoltaan samanlaisia kuin keskimääräiset kuormitusluvut. Koekentän eroosio oli myös tasoltaan huomattavasti korkeampi kuin aiemmin on esitetty (vrt. taulukot 2 ja 3). Tämä viittaa vahvasti siihen, että koekentän kaltaisissa olosuhteissa kasvinviljelyn merkitys vesistökuormitukselle on oleellisesti keskimääräistä suurempi.

### 6.1.2 Kuormitus eri viljelymenetelmissä

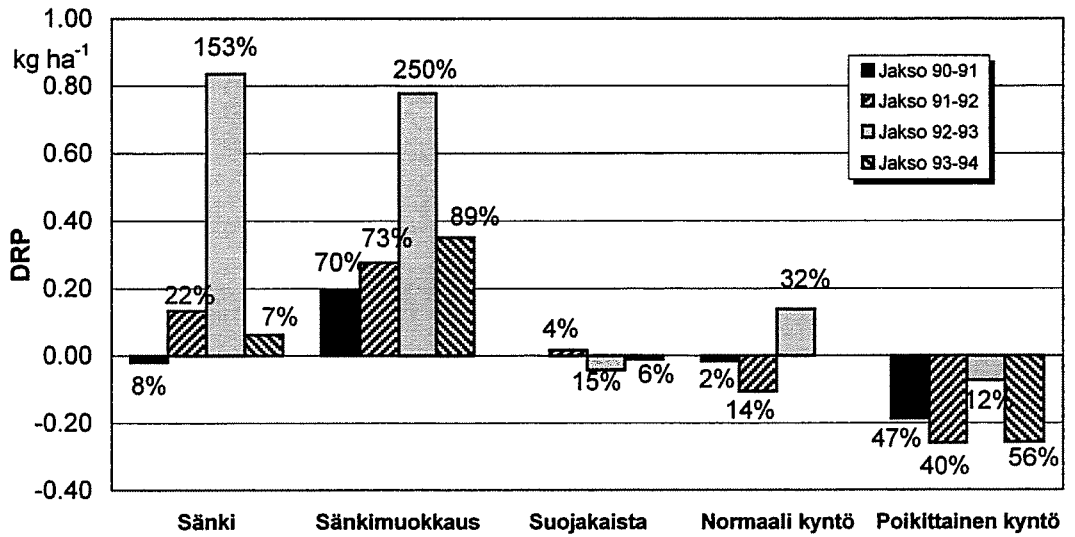
Suuresta vuosivaihtelusta johtuen viljelymenetelmille tai muokkaus käsittelyille ei ole perusteltua esittää menetelmäkohtaisia kuormituslukuja. Myös paikan vaikutus kuormitukseen saattaa olla niin suuri, että viljelymenetelmään kytkettävä kuormitusluku olisi hyvin epätarkka. Tästä syystä eri käsittelyjen kuormitusta on tässä yhteydessä arvioitu suhteellisenä kuormituksen muutoksena. Pylväät kuvissa 33-37 kuvaavat eri viljelykäsittelyiden aiheuttamaa kuormituksen muutosta ja sen suuruusluokkaa eri koejaksoilla absoluuttisella asteikolla. Pylväiden %-luvut osoittavat kunkin kuormittavan tekijän suhteellisen muutoksen syysvehnään nähden.



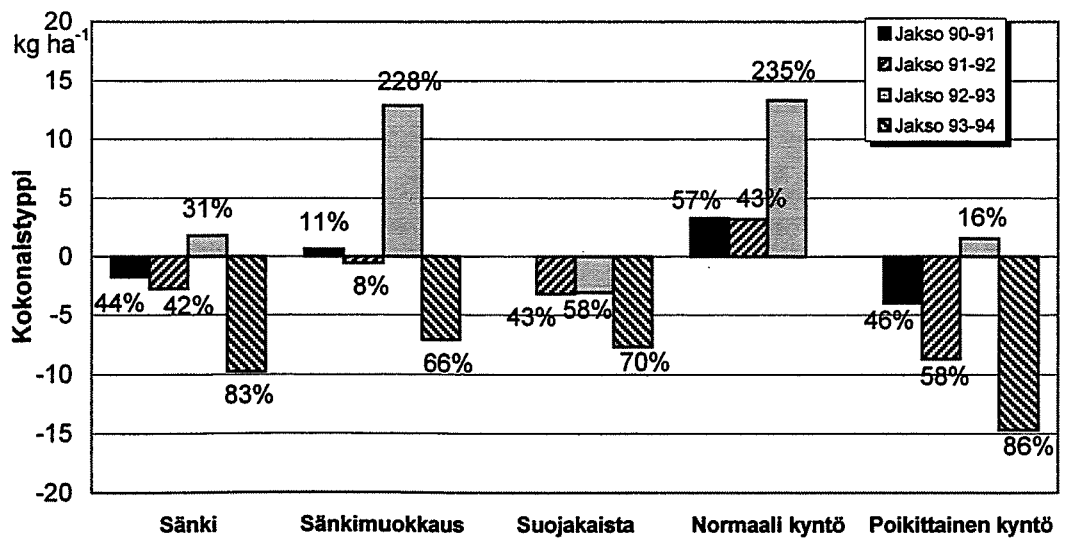
Kuva 33. Eroosion suhteellinen muutos syysvehnään nähden eri viljelykäsittelyillä.



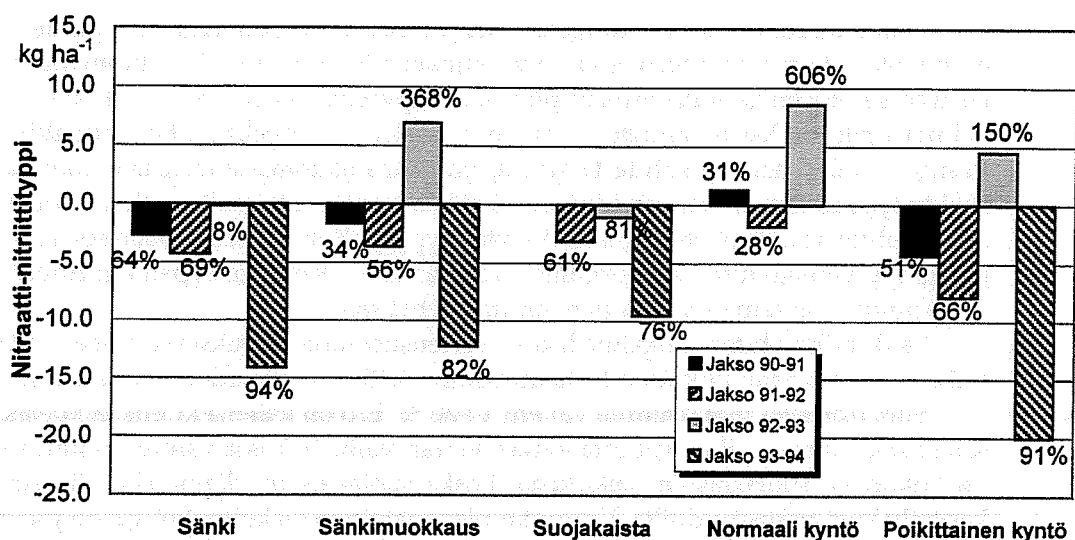
Kuva 34. Partikkelifosforikuormituksen muutos syysvehnään nähden eri viljelykäsittelyissä.



Kuva 35. DRP-kuormituksen muutos syysvehnään nähden eri viljelykäsittelyissä.



Kuva 36. Kokonaistyyppikuormituksen muutos syysvehnään nähden eri viljelykäsittelyissä.



Kuva 37. Nitraatti-nitriittityppikuormituksen muutos syysvehnään nähden eri viljelykäsittelyissä.

Viljelymenetelmien parittainen vertailu syysvehnään rajoittaa menetelmien suhteellisten kuormitusmuutosten keskinäistä vertailua. Selvät käsittelyiden erot kuitenkin mahdollistavat panemaan ne suuruusjärjestykseen. Pienillä eroilla tämä ei ole mahdollista, mutta toisaalta niillä ei ole myöskään merkitystä käytännön kannalta. Perusmenetelmän eli syysvehnän kuormituksessa käsittelyn sisäinen vaihtelu (vaihteleva oras syksyllä) hankaloittaa vertailuja.

Eroosio oli rinteiden suuntaisesti kynnetyssä ruudussa vähintään puolitoista-kertainen (kuva 33), enimmillään lähes kaksinkertainen ja partikkelifosforikuormitus lähes kaksinkertainen (kuva 34) syysvehnään nähden. Liukoisen fosforin kuormitus oli samaa tasoa kuin syysvehnällä (kuva 35). Kokonaistypen ja nitraatti-nitriittityypin kuormitus kasvoi suhteessa syysvehnään. Kun kynnetyt koeruidun valunnassa kiintoainepitoisuus on korkea, se samalla sisältää muokkauskerroksen orgaanista tyyppiä ja siten kokonaistypen kuormitus oli korkea. Nitraattityypin kuormitus voi ajoittain olla pienempi syysvehnään nähden, kun syysvehnän oraasta mahdollisesti huuhtoutuu nitraattia ja kynnetyssä maassa typen mineralisoituminen samaan aikaan on pysähdyksissä. Kolmannella koejaksolla kynnetyt ruudun nitraattikuormitus oli noin viisinkertainen syysvehnään nähden.

Sänkimuokkauksessa kiintoaineen ja partikkelifosforin pitoisuudet eri jaksoilla vuoroin kasvoivat ja vuoroin alenivat. Huomattavaa on se, että kiintoaineksen ja partikkelifosforin välillä oli systemaattinen ero (Part. P:n suht. kuormitus suurempi kuin suhteellinen eroosio), joka viittaa siihen, että sänkimuokkatulta ruudulta on erodoitunut fosforipitoista kiintoainesta ja joka ei ole muuttunut liukoiseen muotoon. Eroosion ja partikkelifosforin kuormitus sänkimuokkauksessa oli hyvin lähellä samaa tasoa kuin syysvehnällä.

DRP-pitoisuuden kohoaminen lisäsi merkittävästi liukoisen fosforin huuhtoutumista sänkimuokkauksessa.

Sängellä eroosio pieneni kolmella koejaksolla alle puoleen, enimmillään neljänneksen osaan syysvehnän kuormituksesta (kuva 33). Tämän seurauksena partikkelifosforin kuormituksessa tapahtui samanlainen väheneminen (kuva 34). Partikkelifosforin kuormituksen aleneminen oli niin suuri, että myös kokonaisfosforin kuormitus aleni merkittävästi. Kolmannella koejaksolla eroosio ja partikkelifosforin kuormitus olivat sängellä ja syysvehnällä samanlaiset.

Nitraattikuormitus aleni sängellä yhtä jaksoa lukuunottamatta alle puoleen, enimmillään kymmenenteen osaan syysvehnään nähden (kuva 37). Huomattavaa tässä oli se, että eri jaksoilla nitraattipitoisuudet pysyivät varsin vakaina, kun syysvehnällä pitoisuuksien vaihtelu oli hyvin voimakasta. Sängellä matala nitraattipitoisuus johtui ilmeisesti kahdesta syystä; muokkaamattomasta maasta ei mineralisoidu typpeä samaan tapaan kuin muokatusta maasta ja toisaalta pellon pinnalle jäävä puintijäte alkaa heti hajota, mikä sitoo typpeä. Kolmannella koejaksolla sängin ja syysvehnän nitraattikuormitus oli samaa tasoa. Kokonaistypen kuormituksessa muutos oli samansuuntainen, mutta ei yhtä selvä.

Sänkivaihtoehdon ongelmallisuus vesiensuojelutarkoituksessa tulee myös esille pintavalunnan liukoisen fosfaattifosforin (DRP) pitoisuuden kohoamisena.

Suojakaistalla pintavalunta väheni 10-20 %. Ero oli kaikilla kolmella koejaksolla samaa tasoa, vaikka valunta jonkin verran vaihteli. Tässä valunnan muutos on kokonaan suojakaistan vaikutusta, koska suojakaistan yläpuolella oli sama käsittely kuin perusruuduilla. Valunnan pieneneminen oli kuitenkin varsin pieni. Täysimittaisella rinnepellolla valunnan kumuloituessa pellon alareunaan, suojakaistan kyky hidastaa valuntaa tulee nopeasti rajalliseksi ja varsinaisten valuntauhiippujen aikaan valunnan määrässä ei tapahtune kuin marginaalisia muutoksia.

Erosion ja partikkelifosforikuormituksen selvä aleneminen suojakaistalla johtui pitoisuuksien voimakkaasta alenemisestä.

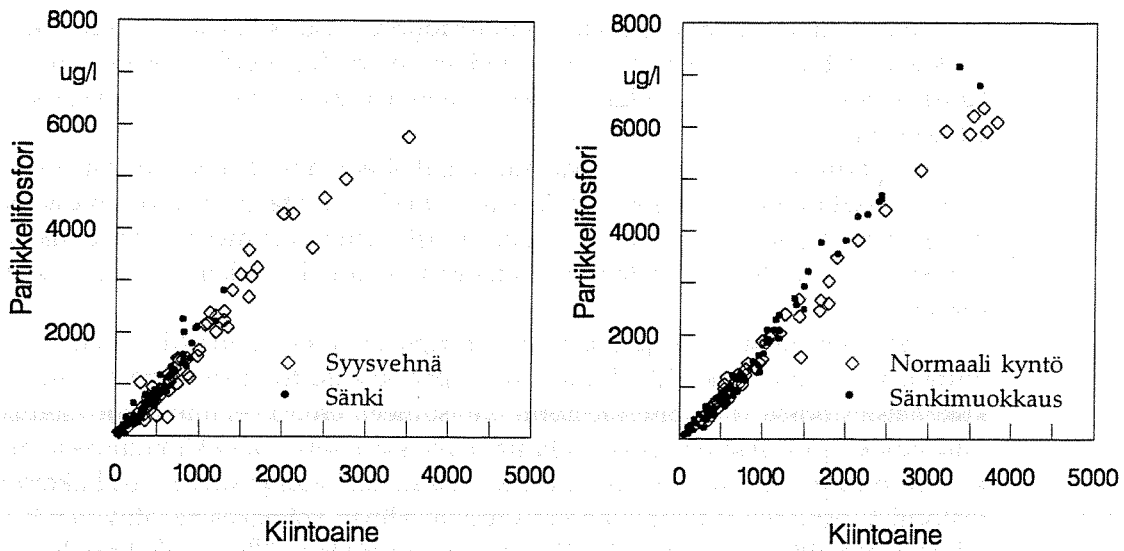
Kokonaistypen ja nitraattityypen kuormitus aleni myös suojakaistalla merkittävästi, parhaimmillaan viidenteen osaan syysvehnään nähden, pääosin pitoisuuksien alenemisen seurauksena. Liukoisen fosforin pitoisuus taas kasvoi lievästi valunnassa. Pitoisuuden kohoaminen oli niin pieni, että valunnan väheneminen kompensoi vaikutuksen ja DRP:n kuormitus oli samaa tasoa kuin syysvehnällä.

### **6.1.3 Pintaerosion ja ravinnekuormituksen välinen riippuvuus**

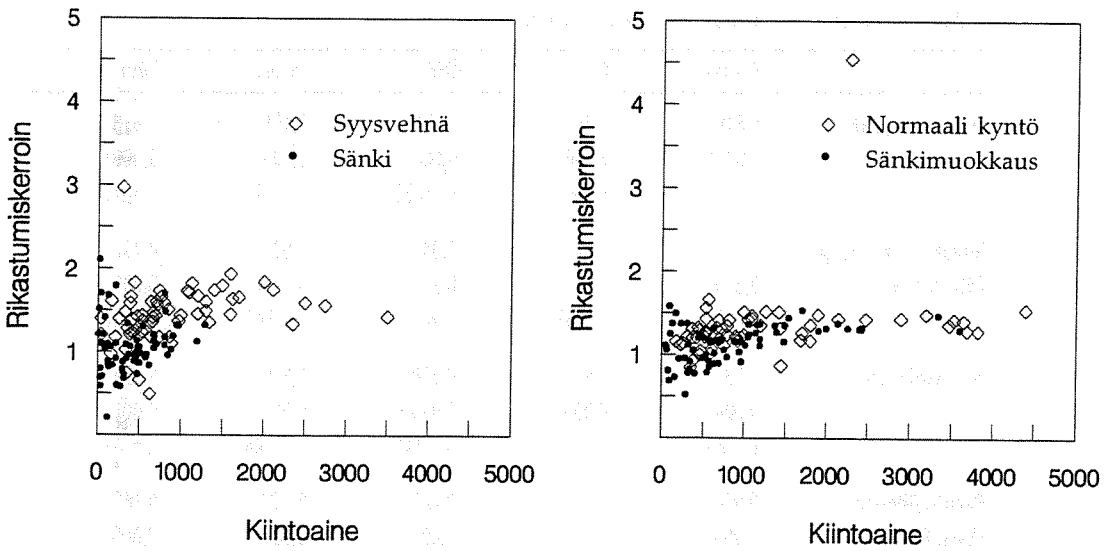
Kiintoaine- ja partikkelifosforipitoisuuden välillä on vahva riippuvuus (kuva 38). Tilanne oli samanlainen kaikissa käsittelyissä. Erosion tai kiintoainepitoisuuden vaihdelta eroituneen lajitteen ominaisuuksien, mm. fosforipitoisuuden, oletetaan muuttuvan. Pintavalunnan intensiteetin vaihtelu oli ilmeisesti vähäistä rinteiden lyhyiden vuoksi ja siten eroosion voimakkain mahdollinen vaihe jäi kokonaan puuttumaan. Tähän viittaa se, että fosforin rikastumiskerroin pysyi lähes muuttumattomana valunnan kiintoainepitoisuuden kasvaessa (kuva 39). Ts. koko valuntakauden ajan muokkauskerroksesta olisi erodoitunut ominaisuuksiltaan jokseenkin samanlaista maa-ainesta.

Pitkillä rinteillä valunnan kasvaessa noroutumiskynnystä suuremmaksi eroosion voimistuessa sen selektiivisyys vähenee ja erodoitunut maa-ainekas on ominaisuuksistaan lähellä alkuperäistä muokkauskerroksen maata. Tässä tilanteessa fosforin rikastumiskerroin lähestyy arvoa 1.

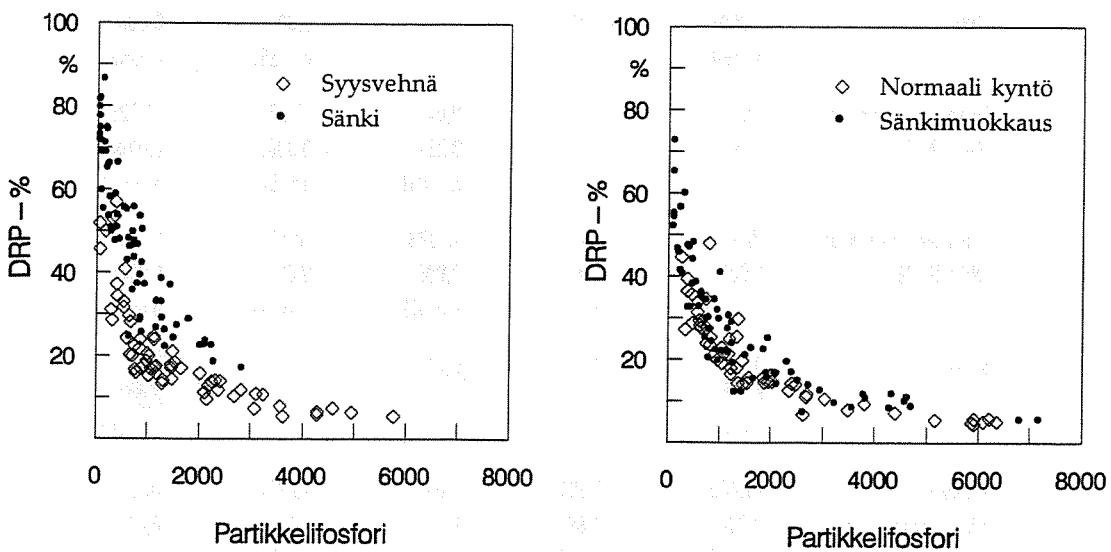
Liukoisen fosforin osuus kokonaisfosforista pienenee sitä enemmän, mitä suurempi valunnan partikkelifosforipitoisuus on (kuva 40). Yhteys on samanlainen kaikilla käsittelyillä. Tämä johtuu kiintoaineksen ja partikkelifosforin välisestä yhteydestä, muokkauskerroksen P-luvun ja DRP:n välisestä yhteydestä ja kokonaisfosforin pienestä DRP:n osuudesta. Valunnan DRP-pitoisuus voi määräytyä jo valunnan aikana tai pellon ulkopuolella erodoituneen maa-aineksen vaikutuksesta. Yli-Halla ym. (1995) totesivat po. koekentän maanäytteistä tehtyjen laboratorioanalyysien ja muokkauskerroksen valunnan DRP-pitoisuuksien perusteella, että valunnan DRP:stä 16-38 % olisi peräisin erodoituneesta maa-aineksestä ja loput muokkauskerroksesta valunnan yhteydessä vapautuneesta fosfaattifosforista.



Kuva 38. Kiintoaine ja partikkelifosforipitoisuus eri käsittelyissä.



Kuva 39. Fosforin rikastumiskerroin ja kiintoainepitoisuus eri käsittelyissä.



Kuva 40. DRP-osuuden muutos kiintoainepitoisuuden muuttuessa.

Joelssonin (1981) mukaan liukoisen fosforin pitoisuus kasvaa valunnan kasvaessa ja asettuu lopulta tiettyyn maksimi-arvoonsa. Tässä tutkimuksessa muokauskerroksen valuntaa ei mitattu jatkuvana mittauksena, joten vastaavaa tarkastelua ei voitu tehdä.

Jos partikkelimaista fosforia vapautuu liukoiseen muotoon ja liukoista fosforia huuhtoutuu enemmän fosforin rikastuessa pellon pintaan, ei eroosion estäminen pienennä kokonaisfosforin huuhtoutumista samassa suhteessa. Ilmiö saattaa korostua fosforirikkailla mailla fosforin rikastuessa muokauskerroksen pintakerrokseen.

Valunnan kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuden välinen korrelaatio on erittäin vahva (taulukko 23). Tämä johtuu partikkelifosforin suuresta osuudesta kokonaisfosforissa. Liukoisen fosforin pitoisuuteen eroosio ei juurikaan vaikuta. Pitoisuuden pysyessä erilaisissa valuntatilanteissa tasaisena, ei kiintoaine- ja liukoisen fosforin pitoisuuden välillä ole korrelaatiota. Tästä johtuu myös liukoisen fosforin %-osuuden ja kiintoainepitoisuuden välinen voimakas negatiivinen korrelaatio. Nitratti-nitriittitypen ja kiintoainepitoisuuden välillä ei ole korrelaatiota. Tämä johtuu nitraatin vesiliukoisuudesta ja sen eroosiosta riippumattomasta huuhtoutumisesta.

Taulukko 23. Valunnan pitoisuuksien välisiä korrelaatioita

	Kiintoaine	Part. P	DRP	Sameus	Johtoluku
Kokonaistyyppi (N)	0,488 0,0001 n=622	0,459 0,0001 n=614	0,196 0,0001 n=622	0,451 0,0001 n=536	0,698 0,0001 n=602
Niraatti-nitriittityppi (NO <sup>3</sup> -NO <sup>2</sup> -N)	0,067 0,0900 n=641	0,013 0,7335 n=634	0,044 0,262 n=642	0,030 0,4708 n=546	0,738 0,0001 n=622
Kokonaisfosfori (P)	0,932 0,0001 n=640	0,997 0,0001 n=641	0,259 0,0001 n=641	0,919 0,0001 n=545	0,186 0,0001 n=621
Partikkelifosfori (Part. P)	0,934 0,0001 n=640	-	0,178 0,0001 n=641	0,922 0,0001 n=545	0,165 0,0001 n=621
Liukoinen fosfori (DRP)	0,175 0,0001 n=648	0,178 0,0001 n=641	-	0,187 0,0001 n=553	0,274 0,0001 n=629
Liukoisen fosforin osuus (Liuk. P- %)	-0,643 0,0001 n=640	-0,642 0,0001 n=641	0,047 0,237 n=641	-0,595 0,0001 n=545	-0,226 0,0001 n=621
Liukoisen typen osuus (NO <sub>3</sub> -N- %)	-0,316 0,0001 n=615	-0,353 0,0001 n=607	-0,398 0,0001 n=615	-0,302 0,0001 n=529	0,195 0,0001 n=595
Sameus	0,967 0,0001 n=552	0,922 0,0001 n=545	0,187 0,0001 n=553	-	0,129 0,0024 n=553
Fosforin rikastumiskerroin	-0,240 0,0001 n=640	-0,089 0,089 n=640	0,057 0,152 n=640	-0,204 0,0001 n=544	-0,263 0,0001 n=620



## 6.2 Hajakuormituksen vähentäminen

Vesistöihin saakka tulevan kuormituksen määrää riippuu valunnan määrästä ja pitoisuudesta. Kumman tahansa tekijän vähetessä kuormitus pienenee. Veden kulureitillä tähän voidaan vaikuttaa useassa eri paikassa; pellolla, pellon raunalla tai pellon ulkopuolella.

Viljelytekniset ratkaisut muuttavat erityisesti valunnan pitoisuuksia ja myös valuntasuhteita. Pellon reunalla toteutettavat suojakaista ja -vyöhykkeet muuttavat valunnan pitoisuuksia ja potentiaalisesti valuntasuhteita. Kokonaisvaluntaan ne eivät juurikaan vaikututa. Pellon ulkopuolella lähinnä kosteikot ja laskeutusaltaat muuttavat potentiaalisesti vain valunnan pitoisuuksia.

Kokonaisvalunnan pienentäminen on mahdollista, jos haihdunnan osuutta voidaan lisätä. Eri kasvien esim. nurmen ja viljakasvien, haihdunta (transpiraatio) voi poiketa toisistaan useita kymmeniä millimetrejä kasvukaudella. Tällä ei kuitenkaan ole valunnan kannalta juurikaan merkitystä, koska eri kasvien viljelyalat ovat jokseenkin muuttumattomia. Säätosalaajituksella ilmeisesti voidaan vähentää kokonaisvaluntaa, koska järjestelmä varastoi vettä maaperään väliaikaisesti ja josta kasvit haihduttavat sitä tavanomaista runsaammin.

Keskimääräinen valunta Etelä-Suomessa maa-alueilla vastaa 2 000-3 000 m<sup>3</sup> vesimäärää hehtaarilta. Veden virtausnopeutta voidaan hidastaa patoamalla se uomiin tai altaisiin, mutta tämä ei juurikaan vähennä sen kokonaismäärää.

Hydrologisen kierron luonteesta johtuen valunnan pitoisuuksien säätely on keskeisin mahdollisuus pelloilta lähtevän kuormituksen vähentämiseksi. Valuntasuhteita muuttamalla voidaan myös vähentää kaltevien peltojen kuormitusta. Kun huuhtoutumismekanismit ovat eri ravinteilla erilaiset, keskeistä on priorisoida kuormittavat tekijät ja niiden huuhtoutumistapa. Tämän perusteella voidaan valita oikeat toimenpiteet kuormituksen vähentämiseksi.

### 6.2.1 Perinteinen perusmuokkaus

Rinteen suuntaisesti kynnetyssä maassa muokkauskerroksen valunta saattaa vähentyä pinnaltaan tasaiseen syysvehnään nähden. Se on mahdollista, kun valunta kohtaa jatkuvasti esteitä edetessään kyntöviilujen lomassa. Valunta hidastuu ja infiltroitumiselle jää enemmän aikaa. Valuntojen erot olivat kuitenkin pieniä, eikä sitä siihen sisältyvästä epävarmuudesta johtuen voida pitää varmana tuloksena. Jyrkillä pelloilla veden virtausnopeuden kasvaessa tasaiseen peltoon nähden käsittelyjen mahdolliset erot saattavat pienentyä.

Kynnetyn maan suuri kuormitus johtuu ennenkaikkea valunnan korkeista pitoisuuksista. Korkeiden pitoisuuksien vuoksi kynnety maa oli lähes kaikkien tekijöiden osalta kuormittavin menetelmä.

Rinteeseen nähden poikittainen kyntö eroaa oleellisesti rinteen suuntaisesta kynnöstä. Sillä on erittäin suuri vaikutus muokkauskerroksen valunnan määrään. Jos valunta on keskimääräistä, eikä ylärinteeltä kumuloidu valuntaa pellon alosaan, saadaan valuntasuhteiden muutoksella aikaan merkittävä kuormituksen vähentyminen. Kokonaisvalunta ei kuitenkaan sanottavasti vähene poikittain kynnetyllä pellolla vähäisen haihdunnan vuoksi. Käsittely lisää salaojavalunnan määrää, mikä saattaa lisätä liukoisten ravinteiden huuhtoutumista.

Poikittainen kyntö on riskialtis olosuhteissa, joissa muokkauskerroksen valunnan määrä on niin suuri, että kyntöviilut eivät kykene enää padottamaan vettä taakseen. Valunnan ylittäessä kyntöviilut eroosio saattaa kasvaa erittäin voimakkaasti. Ilmiölle on tyypillistä se, että valunta purkautuu vain muutamasta kohtaa ja kuluttaa syvät urat pellon alareunaan. Tästä syystä poikittainen kyntö kaltevis-

sa oloissa pelkkänä päistekyntönä ei ole riittävä toimenpide. Loivilla rinnepeleillä kyntösuunnan muutos vesiensuojelumielessä on perusteltua. Poikittainen kyntö saattaa hidastaa keväällä pellon kuivumista kylvömuokkauskuntoon.

### **6.2.2 Kevennetty muokkaus ja kasvipeitteisyys**

Syysvehnässä pintavalunnalla on esteetön pääsy kylvörivien ohjaamana pois pelolta, jos kylvöt on tehty rinteeseen suuntaisesti. Keväällä talven heikentämä oras toipuu nopeasti, kun pintavedestä ei ole haittaa. Kaltevalla syysvehnäpellolla kokonaisvalunnasta tulee pintavaluntana maksimaalinen osuus, jos valuntaa hidastavia tekijöitä ei ole. Poikkeuksena on vahva ja tiheä oras, mikä voi hidastaa pintavaluntaa tehokkaasti. Vahvan oraan merkitys valunnan määrään jäänee kuitenkin satunnaisiksi, koska vahvakin oras talven jälkeen on kevätvaluntojen aikaan ränstynyttä. Toisaalta orastuminen syksyllä on riippuvainen syksyn sääoloista, jolloin viljelijän vaikutusmahdollisuudet oraiden kasvuun kylvön jälkeen ovat vähäiset. Toisaalta pitkälle kehittynyt oras syksyllä ei ole edes tavoitteena talvehtimisvaurioiden vuoksi.

Kahteen kertaan tehty enintään 10 cm:n syvyyteen ulottuva muokkaus jous-topiikkiäkeellä jättää runsaasti kasvijätteitä maan pinnalle ja pintakerrokseen. Pellon pintaan jää myös löyhää hienojakoista maa-ainesta. Vettä johtavia vakoja tai uurteita pellon pinnassa ei ole, mutta pellon pinta jää tasaisemmaksi kuin kultivoinnissa. Kultivoinnista muokkaussyvyys voidaan helposti säätää 15 cm:iin.

Esitetyllä tavalla toteutettussa sänkimuokkauksessa pintavalunta on samaa tasoa tai hiukan suurempi kuin syysvehnällä. On hyvin mahdollista, että sänkimuokatussa maassa pintavalunta kuljettaessaan hienoa maa-ainesta pellon pinnalla liettää huokokset ja mahdolliset halkeamat umpeen. Maassa olevat halkeamat voivat täytyä jo muokkausvaiheessa. Tämä heikentäisi infiltraatiota ja lisäisi pintavaluntaa. Kultivoidulla pellolla valuntasuhteet ilmeisesti poikkeavat tästä.

Sänkipellolla puintijätteet ja sänki hidastavat pintavalunnan virtausnopeutta jonkin verran syysvehnään nähden. Sänkipellolla ei ole valuntaa ohjaavia kylvöuria. Kesän jälkeen sänkipelloilla on usein runsaasti halkeamia. Nämä tekijät pienentävät potentiaalisesti pintavalunnan määrää. Toisaalta, jos syysvehnän oras on tiheä ja muokauskerros löyhä, pintavalunta saattaa pinnastaan tiiviillä sänkipellolla olla sateen jatkuessa runsaampaa kuin syysvehnällä. Erot syysvehnän ja sänkipellon pintavalunnoissa kaltevilla pelloilla ovat kuitenkin pienet. Käytännössä ei tämän suuruinen valunnan muutos juurikaan vaikuta kuormitukseen.

Pitkillä rinnepeleillä pintavaluntaa kumuloituu pellon alareunaan. Tällöin pellon alareunassa valunta saattaa olla monikertainen tasaisella maalla muodostuvaan valuntaan nähden. Valunta helposti noroutuu, jota aiheuttaa voimakasta paikallista eroosiota. Tässä viljelykäsittelyjen erot ovat selvät. Syysvehnään muodostuu herkästi uria valunnan noroutuessa. Sängellä ei muodostu samanlaisia uria, ei myöskään sänkimuokkauksessa. Lyhyillä rinnepeleillä pintavalunnan noroutumista ei juurikaan tapahdu.

Sänki poikkeaa ratkaisevasti syysvehnästä muokauskerroksen valunnan pitoisuuksissa. Pitoisuudet alenivat syysvehnään nähden niin paljon, että pintavalunnan lisäyskään ei mitätöi matalia pitoisuuksia. Suurimmat muutokset olivat kiintoaine- ja fosforipitoisuuksissa.

Sängellä muodostuu ongelmaksi liukoisen fosforin pitoisuus. Muokauskerroksen valunnan DRP-pitoisuus kohosi ilmeisesti fosforin rikastuessa muokauskerroksen pintaosaan. Toisaalta pellon pintaan jäävä puintijäte on myös potentiaalinen liukoisen fosforin lähde. Jos muokauskerroksen P-luku on matala, valunnan

DRP-pitoisuus ei kasva absoluuttisella asteikolla enää merkittävästi ja kuormituksen kasvu jää pieneksi. Ongelma rajoittuukin sellaisille rinnepelloille ja vesistöihin rajoittuville pelloille, joilla muokkauskerroksen P-luku on korkea.

Sänkimuokkuksessa DRP-pitoisuus kohosi sänkeäkin enemmän. Sänkimuokatussa maassa pintavalunta on tehokkaassa kontaktissa hienojakoisen maan kanssa, mikä todennäköisesti nostaa valunnan DRP-pitoisuuksia. Toisaalta sänkimuokatulta pelloilta saattaa lähteä liikkeelle hienojakoista maa-ainesta, jolloin reaktioaika veden kanssa pitenee. Kultivoidulla maalla tilanne taas saattaa olla erilainen suuremman muokkassyvyyden ja karkeuden vuoksi.

Rinteen suuntaiseen kyntöön nähden sänkivaihtoehdon kuormitus pieneni merkittävästi kaikkien muiden kuormittavien tekijöiden paitsi liukoisen fosforin osalta. Syysvehnän ero sensijaan oli ajoittain varsin pieni. Kun varsinaisella viljanviljelyalueella peltoalasta pääosa on ollut talven kynnettyä tai syysvehnällä, on ilmeistä, että pelloilta tulevaa kuormitusta ei voida juurikaan vähentää vaihtamalla syyskynnön ja syysvehnän peltoalaosuuksia keskenään.

### 6.2.3 Suojakaista

Suojakaistalla on oleellista sen laatu. Toimiakseen kunnolla syksyllä ja keväällä suojakaistalla tulisi olla vahva kuloutunut heinä, jolloin valunta siivilöityy tämän läpi. Toisaalta vanha kasvusto saattaa heikentää uuden kasvuston kehittymistä, jolloin suojakaistan teho on heikompi seuraavalla kaudella. Tutkimuksessa pitoisuuksien aleneminen oli niin suuri, että suuremmankin alueen vedet olisivat ilmeisimmin vielä puhdistuneet ko. kaistalla. Suojakaistalta ei havaittu DRP-kuormituksen kasvua.

Täysimittaisella rinnepellolla kuormituksen aleneminen ei liene kuitenkaan näin voimakas. Esim. kiintoainesta ei runsaassa valuntatilanteessa voi jäädä kapealle suojakaistalle samalla teholla. Pitkien rinnepeltojen reunaan suojakaistojen tilalle tulisi perustaa suojavyöhykkeitä. Pelkän suojakaistan varaan ei ole järkevää jättää kuormituksen rajoittamista, vaan on toteutettava suojakaista-viljelykäsitely yhdistelmiä. Suojakaistan kanssa toteutettavan vaihtoehdoisen muokkauksittelyn tulee tällöin olla aiempaa käsittelyä vähemmän kuormittava.

# 7

## Tulosten tarkastelu

Koekentän olosuhteet ja kuormitustaso ovat keskeisiä näkökohtia arvioitaessa viljelykäsittelyjen kuormituserojen yleistä merkitystä vesiensuojelun kannalta. Peltojen vesistökuormitusta aiheuttavien ominaisuuksien tarkastelu tässä yhteydessä auttaa asian hahmottamista. Osa tulosten tarkastelua on vertailla saatuja tuloksia muihin vastaavanlaisten tutkimusten tuloksiin. Keskeistä tässä on myös koe- ja mittausvirheiden mahdollinen vaikutus tulosten luotettavuuteen.

### Valunta ja valuntasuhteet

Syysvehnällä, sängellä ja sänkimuokatulla pellolla maan pinnan tasaisuus, muokauskerroksen huokoisuus ja murujen stabiilisuus ovat erilaisia. Nämä tekijät vaikuttavat veden varastotilaan ja valunnan nopeuteen. Nämä muuttavat erityisesti valuntasuhteita, minkä pitäisi näkyä pintavalunnan muutoksina.

Valuntasuhteet eri käsittelyissä ilmeisesti vaihtelevat pellon kaltevuuden mukaan. Tällöin merkittävänä tekijänä saattaa olla valunnan nopeus ja kesto. Kun esim. sänkimuokkauskäsittelyssä vesi suotautuu maahan selvästi nopeammin kuin aurattomasti (sänki) viljellyllä pellolla (Jones ja Popham 1994), ei suotautumista välttämättä ehdi tapahtua samassa määrin kaltevilla pelloilla, jolloin käsittelyjen erot saattavat kaventua tai muuttua jopa päinvastaisiksi. Aurajoen koekentällä tämä tilanne vielä korostuu tiiviin maalajin ja voimakkaiden ja lyhytaikaisten valuntojen seurauksena. Kirjallisuudessa esitettyjen tutkimustulosten perusteella näyttää, että olosuhteilla on suuri vaikutus valuntasuhteisiin.

Esim. Blevins ym. (1990) olivat havainnet noin 3,5 vuoden koesarjassa Kentuckyssä pintavalunnan olevan perinteisesti viljellyllä pellolla (kyntö ja äestys) yli kaksinkertainen kultivoituun ja aurattomaan viljelyyn nähden. Aurattomalla ja kultivoidulla pellolla pintavalunta oli ollut jokseenkin sama. Koekentöän maalaji oli hiesua (silt loam) ja kaltevuus noin 9 %.

Taskassa Sibbesen ym. (1993) myös totesivat, että syysvehnällä (poikittainen sekä rinteiden suuntainen kylvö) ja kesantopellolla pintavalunta oli selvästi suurempaa kuin talvella nurmipeitteisellä pellolla (pysyvä nurmi ja kevät viljaan kylvetty nurmi talven ajaksi) ja syksyllä kynnetyllä pellolla. Tässä kokeessa maalaji oli hiekkaa ja kaltevuus 10 %.

Kotkanojan koekentällä sängessä pintavalunta kasvoi kynnettyyn nähden (Turtola 1996). Tässä oli taustalla ainakin osittain uusitun salaojituksen vaikutus. Kynnön seurauksena yhteys pellon pinnalta salaojiin parani, kun sängessä muokauskerros saattoi estää veden valumista salaojiin. Kotkanojan koekentän kaltevuus (n. 2%) on oleellisesti pienempi kuin Aurajoen koekentällä. Siten pintavalunnalle jää enemmän aikaa aikaa infiltroitua maaperään ja käsittelyjen erot tulevat esille.

Vastaavia tuloksia on saatu koesarjassa Alabamassa, jossa peltoaluetta oli viljelty 3 vuotta peräkkäin perinteisin menetelmin (kyntö ja äestys) ja sen jälkeen 3 vuotta aurattomasti. Auraton viljely lisäsi pintavaluntaa 53 % perinteiseen nähden (Yoon ym. 1992, Yoo ym. 1993). Tässä kenttäkokeessa maalaji oli hiesusavea (silty clay) ja hiesua (silt loam) ja kaltevuus alle 6 %.

Gaynor ja Findlay (1995) myös totesivat, että pintavalunta kasvaa aurattomassa ja kevyesti muokatussa maassa kynnetyyn nähden (Ontario). Keskimääräinen vuosivalunta (kolmen vuoden koesarja) oli perinteisellä 237 mm ja aurattomalla 224 mm. Pintavalunnan osuus perinteisellä viljelyllä oli 25 % ja aurattomalla 36 % kokonaisvalunnasta. Maalaji tässä kokeessa oli hiuesavea.

Mostaghimi ym. (1988) havaitsivat taas sadetuskokeissaan, että auraton viljely vähentää valuntaa perinteiseen viljelyyn nähden.

Eri käsittelyjen kuormitusvertailuissa suurin epävarmuus Aurajoella sisältyy pintavalunnan määrään. Koekentän suuren pintakaltevuuden ja maalajin vuoksi muokkauskerroksesta oli jo kokeen alussa odotettavissa runsaasti valuntaa. Myös Kotkanojan koekentältä Turtola ja Jaakkola (1987) havaitsivat suuria pintavaluntoja. Vuosina 1983-1986 vuosittainen kokonaisvalunta oli 115-405 mm ja pintavalunnan osuus 67-77 %. Myöhemmin vuosina 1987-1990 (Turtola ja Paajanen 1995) koekentän kokonaisvalunta oli 235-346 mm pintavalunnan osuus 56-90 %. Salaojaverkoston uusiminen koekentällä pienensi pintavaluntaa. Vuonna 1992 kokonaisvalunta oli 355 mm ja pintavalunnan osuus 15 % sekä vuotta myöhemmin 239 mm ja pintavalunnan osuus noin 40 %.

Pintavaluntojen määrä Kotkanojan kentällä ennen salaojituksen uudistamista oli samaa tasoa kuin Aurajoen kentällä. Ojituksen jälkeen pintavaluntojen määrät em. kentillä poikkeavat oleellisesti toisistaan. Turtolan ja Paajanen (1995) mukaan valuntasuhteiden lisäksi kokonaisvalunnan osuus sadannasta kasvoi noin 11 %.

Hovin valuma-alueella kokonaisvalunnan osuus sadannasta oli 49-61 %. Kotkanojan koekentällä kokonaisvalunta oli 41-47 % sadannasta (Turtola ja Paajanen 1995) ja myöhemmin koekentän salaojituksen uusimisen jälkeen 58-61 % sadannasta.

Muokkauskerroksen valunnan ja sadannan suhteen perusteella on pääteltävissä, että Aurajoen koekentällä keräimillä saatiin mittattua pääosa muokkauskerroksen valunnasta. Valunnan absoluuttisen määrän virheellisyydestä johtuen 10-15 % muutoksia valunnassa ei kuitenkaan voida pitää käsittelystä johtuvina muutoksina. Ainoastaan poikittainen kyntö poikkeaa selvästi valuntasuhteiltaan muista käsittelyistä. Pienillä valunnan määrän muutoksilla ei ole merkitystä kuormitukseen.

Pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta on kaltevilla pelloilla niin suuri, että pelkästään muokkauskerroksen valunnassa tapahtuvat kuormitusmuutokset merkitsevät kokonaiskuormituksen muutosta. Kun pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta on tasaisemmilla alueilla suuri, lisää tämä viljelymenetelmien vesien-suojelumerkitystä.

## Eroosio

Kevennetty muokkaus (kultivointi, sänkimuokkaus) ja kasvipeitteisyys (esim. sänki, nurmi) vesiensuojelumenetelmänä perustuvat eroosion kestävyYTEEN. Nämä toimenpiteet onkin todettu useissa yhteyksissä tehokkaiksi.

Valuma-alueiden eroosioon nähden Aurajoen koekentän eroosio on oleellisesti suurempi ja eräiden lounais-suomalaisten peltovaltaisten valuma-alueiden eroosioon nähden vähän suurempi. Mansikkaniemi (1982) on arvioinut keskimääräisenä vuonna eroosion määräksi kaltevilla Lounais-Suomen pelloilla 2200-3600 kg ha<sup>-1</sup>, kun pellot ovat pääosin olleet syysvehnällä ja kynnetyinä.

Aurattomassa viljelyssä eroosio on vähentynyt perinteiseen viljelyyn nähden 'huomattavasti' (Mostaghimi ym. 1988), puoleen (mm. Yoon ym. 1992, Gaynor ja Findlay 1995) ja parhaimmillaan murto-osaan (mm. Blevins ym. 1990, Sharpley ym. 1994). Eroosiossa kuitenkin esiintyy hyvin suurta vaihtelua eri vuosien ja myös paikkakuntien välillä (Sibbesen ym. 1993), mikä saattaa ajoittain vaikuttaa eri käsittelyjen välisiin suhteisiin. Aurajoen koekentän tulokset noudattavat varsin hyvin muualla saatuja tuloksia.

## Fosfori

Partikkelifosforin kulkeutuminen vesistöihin on niin vahvasti sidoksissa eroosioon, että siitä aiheuttuvat ympäristöongelmat ovat hoidettavissa torjumalla eroosiota. Liukoisen fosforin käyttäytyminen poikkeaa tästä. Kevyesti muokatuilla mailla se on peräisin erodoituneesta ja mahdollisesti fosforilla rikastuneesta maa-aineksesta, pellon pintaan rikastuneesta fosforivarastosta ja kasvijätteestä tai molemmista. Ilmiö saattaa muodostua ongelmaksi pelloilla, joissa P-luku on korkea. Pitemmällä aikavälillä ongelma on hallittavissa säännönmukaisella muokkauskerroksen P-luvun alentamisella.

Vastaavaavia tuloksia on saatu runsaasti eri tutkimuksissa. Sharpley ym. (1994) havaitsivat, että partikkelifosforin huuhtoutuminen pieneni aurattomassa vehnänviljelyssä 84 % ja kokonaisfosfori 65 %, mutta liukoisen fosforin (Diss.P) lisääntyi kolminkertaiseksi verrattuna perinteisellä tavalla viljeltyyn vehnään (kyntö ja äestys). Blevins ym. (1990) havaitsivat, että aurattomassa viljelyssä liukoisen fosforin huuhtoutuminen kasvoi lähes kolminkertaiseksi, vaikka eroosio väheni murtoosaan perinteiseen nähden. Yoon ym. (1992) kokeissa liukoisen fosforin huuhtoutuminen aurattomassa viljelyssä kasvoi 239 % ja kokonaisfosfori 191 % perinteiseen nähden. Tässä liukoisen fosforihuuhtoutuman kasvu johtui osittain kasvaaneesta pintavalunnasta, mutta huomattava osa kohonneesta pitoisuudesta. Samaan aikaan eroosio aleni puoleen.

Mostaghimi ym. (1988) olivat havainneet, että aurattomasti viljellyiltä ruuduilta oli kokonaisfosforia huuhtoutunut 90 % vähemmän, mutta liukoista fosforia (DRP) saman verran kuin perinteisesti viljellyillä ruuduilla. Kenttäkokeessa valunta oli tehty sadettamalla.

Sharpley (1995) havaitsi muokkauskerroksen fosforitilan (0-10 cm syvyyteen) ja valumaveden liukoisen fosforin pitoisuuden välillä vahvan riippuvuuden. Riippuvuuteen vaikutti myös maalaji.

## Typpi

Typen huuhtoutuminen vaihteli erittäin paljon eri jaksoilla. Syksyisin typen mineralisaatiossa on ilmeisesti suuria eroja, joka vaikuttaa erityisesti valunnan nitraatti-nitriittipitoisuuksiin. Huomattavaa oli nitraattitypen osuuden voimakas vaihtelu kokonaistypestä. Kolmannella koejaksoilla syysvehnäruuduilla nitraattitypen osuus (taulukko 21) oli 21,9 % ja neljännellä koejaksoilla noin 95 % kokonaistypestä. Typen huuhtoutuminen ei ole yhtä voimakkaasti riippuvainen eroosiosta kuin partikkelifosforin huuhtoutuminen. Koekentällä mitattu typpihuuhtoutuma vastaa keskimääräisiä kuormituslukuja.

Franzluebbers ym. (1994) havaitsivat, että mineralisoituvan typen määrä kynthämättömän maan pintakerroksessa (0-50 mm) on selvästi korkeampi kuin kynthetyssä maassa, mutta alemmissa kerroksissa ei eroa enää ole. McCarty ym. (1995) totesivat, että aktiivisen ja biomassa-typen osuudet suhteessa kokonaistyppeen ovat kynthämättömässä maassa korkeammat kuin kynthetyssä maassa.

Patni ym. (1996) havaitsivat, että salaojavesien nitraattipitoisuudet olivat perinteisesti viljellyillä lohkoilla korkeammat kuin aurattomasti viljellyillä aloilla. Ero ei kuitenkaan heidän tutkimuksissaan ollut säännönmukaisesti tilastollisesti merkitsevä.

Yoon ym. (1992) taas havaitsivat, että aurattomassa viljelyssä kokonaistypen huuhtoutuminen kasvoi perinteiseen viljelyyn nähden. Tässä kasvu johtui kuitenkin huomattavasta valunnan kasvusta.

## Peltojen ominaisuudet

Vesistöjen kuormitusta lisääviä peltojen ominaisuuksista keskeisimpiä ovat pelton sijainti suhteessa vesistöön, pintakaltevuus, maalaji ja sen läpäisevyys sekä pellon fosforitila. Tehokas vesistökuormituksen vähentäminen edellyttäisi jokaiselle kasvulohkolle omat viljelysuositukset sisältävän suunnitelman.

Paikallisvesien purkautumispaikasta ja valuma-alueen koosta riippuu, mikä osuus kuivatusvesistä ja kuinka nopeasti virtaa vesistöön. Pienillä virtaamilla, jos uomassa on virtausta hidastavia tekijöitä, kuivatusvesien ravinnepitoisuudet saattavat alentua ennen vesistöihin joutumista. Tällä on merkitystä erityisesti kiintoaineksen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden ainevirtaamaan. Potentiaalisesti viljelyn vaikutukset ulottuvat vesistöihin saakka 88,2 %:lla peltoalasta ja vain runsaalla 10 %:lla peltoalasta ei ole mainittavia vesistövaikutuksia.

Pellon pintakaltevuus eroosiossa on merkittävä tekijä, mikä korostuu vesistöjen läheisyydessä. Peltoalasta 57,1 %:lla kaltevuus on alle 1 m 100 m kohden. Erittäin kaltevia, (> 7m 100 m) peltoja on 3,4 % peltoalasta.

Suurimmillaan kuormitusriski on vesistöihin rajoittuvilla pelloilla sekä vesistöjen läheisyydessä valtaosin rajoittuvilla pelloilla. Välittömästi vesistöön rajoittuvaa tai alle 100 m:n etäisyydellä vesistöä sijaitsevaa peltoa KUTIn mukaan on 14,4 % peltoalasta. Tästä kolmanneksella eli 110 000 ha:lla pellon ja vesistön välinen korkeusero on alle 1 m. Enintään 500 m:n etäisyydellä lähimmästä vesistöä sijaitsee 35 % peltoalasta. Siten kasvipeitteisyys ja kevennetyt muokkauskäsittelyjen sijoittaminen vesistöjen läheisyyteen oleville pelloille on erittäin perusteltua.

Peltojen muokkauskerroksen keskimääräinen fosforipitoisuus (P-luku) on 1950-luvun lopulta (5,4) noussut tasaisesti nykyiseen tasoonsa (12,5). KUTIn mukaan neljänneksellä peltoalasta on ylitetty tavoiteluokka 'tyydyttävä'. Tämä näkyi myös jankkokerroksen fosforipitoisuuksien kohoamisena (Puustinen 1995). Savimaiden pelloista kolmannes on ylittänyt tavoiteluokan. Alle tavoitetason on edelleen yli 40 % pelloista, mutta huonoja tai huononlaisia on kuitenkin vain runsas kymmenes osat peltoalasta. Tämä peltojen ominaisuus ja kevennetyjen viljelymenetelmien vaikutus liukoisen fosforin huuhtoutumiseen on otettava käytännön toteutuksissa erityisesti huomioon.

# 8

## Johtopäätökset

Hajakuormituksen vähentäminen on ongelmallista, koska eri kuormittavat tekijät käyttäytyvät eri tavalla. Lähtökohtana pitäisi olla alapuolisten vesistöjen kriittisimmän kuormittajan määrittäminen. Käytännön toimenpiteiden pitäisi perustua ensisijaisesti tähän lähtökohtaan. Toisaalta vesiensuojelussa tulee kuitenkin pyrkiä vähentämään kokonaisvaltaisesti kaikkia kuormittavia tekijöitä.

Maatalouden hajakuormitus pienenee tehokkaimmin alentamalla valuntojen pitoisuuksia. Pitoisuuksien kasvuhan on ollut pääasiallinen syy kuormituksen kohoamiseen. Kuormitus pienenee myös, jos valuntasuhteita muutetaan siten, että pinta- ja muokkauskerroksen valuntojen osuus kokonaisvalunnasta alenee tai kokonaan estyy. Kuormittavien tekijöiden ominaisuuksista (partikkelimaisuus, vesiliukoisuus) riippuu käytännössä toteutettavien vesiensuojelumentelmien kokonaisvaikutus. Tavanomaiset viljelytoimenpiteet ja -käytännöt eivät muuta kokonaisvaluntaa.

Hajakuormituksen säätely edellyttää erilaisten toimenpiteiden yhdistämistä. Lähtökohtana tulee olla kuormituksen alkupiste. Pellolla tehtävät toimenpiteet kohdistuvat suoraan valunnan pitoisuuksiin ja osin myös valuntasuhteisiin. Jos vesistöjä kuormittavaa materiaalia poistuu pelloilta sen ulkopuolelle, ympäristökuormitus on jo potentiaalisesti tapahtunut. Veden kulkureitin mukaan voidaan tehdä täydentäviä ratkaisuja kuten esim. lisätä suojakaistoja tai -vyöhykkeitä ja perustaa laskeutusaltaita tai kosteikoita.

Kevyemmät muokkausikäytännöt ja talviaikainen kasvipeitteisyys eivät sellaisenaan kuitenkaan palauta kuormitusta vuosikymmenien takaiselle tasolle, koska peltojen ominaisuudet (mm. P-luku, humus, vedenläpäisevyys) ovat muuttuneet intensiivisen viljelyn kaudella.

Kokonaisfosforin kuormitus alenenee eroosiota vähentämällä. Liukoisien fosfaattifosforin huuhtoutuminen ei ole riippuvainen eroosiosta. Sama koskee myös nitraatin huuhtoutumista, vaikka se usein väheneekin niissä olosuhteissa joissa eroosio on pieni.

Liukoisien fosforin vähentäminen pitkällä aikavälillä tulee perustua maan viljavuuden perustuvaan fosforilannoitukseen. Ylilannoitetuilla pelloilla tämä edellyttää fosforilannoitteiden käytöstä pidättäytymistä, kunnes P-luku laskee tavoitetasoonsa. Kun pellon P-luku on normaalitasolla, kevennetyt muokauskäsitteet eivät aiheuta samanlaista liukoisien fosforin huuhtoutumisriskiä kuin ylilannoitetuilla pelloilla.

Typen osalta lähtökohtana on sadon tarvitsema ravinnemäärää vallitsevissa kasvuoaloissa. Kasvukauden jälkeen typpihuuhtoutumat ovat pieniä, jos kasvukauden lannoitetyppi on käytetty kokonaan sadon muodostukseen. Kasvukauden epäedulliset sääolot, joita ei voida ennustaa, huonontavat poikkeuksetta typen hyväksikäyttöastetta. Satokauden jälkeen maahan mahdollisesti jäävän typpiylimäärän haittoja voidaan vähentää kerääjäkasveilla. Tämä toimisi myös tilanteessa, jossa muokkauskerroksen orgaanisen typen mineralisoituminen on satoauden jälkeen voimakasta.

Talviaikaisen kasvipeitteisyyden sijoittelussa on keskeistä viljelykuvioiden sijainti ja pinta-ala, valtaojien määrä ja vesistöjen läheisyys. Vesistöihin rajoituvilla pelloilla säännönmukainen syyskylvö on korvattava kevyemmällä muokka-



usmenetelmillä, jätettävä muokkaamatta tai viljellä vähemmän kuormittavia kasveja. Kaltevilla pelloilla toimenpiteen vaikutus korostuu. Myös valtaojiin rajoittuvia viljelykuvioita tulisi tarkastella samalla tavalla. Jos pellon P-luku on korkea, pellon alareunaan on perustettava leveä suojakaista.

Luopumalla kokonaan syyskynnöistä ja jättämällä pelto syksystä keväeseen saakka sängelle voidaan eroosiota vähentää parhaimmillaan viidenteen osaan siitä, mitä se olisi kynnetyllä maalla. Partikkelimaisen fosforin pitoisuus alenisi tuoloin kuudenteen osaan. Kokonaistypessä kuormitus pienenesi runsaalla puolella ja nitraattitypen kuormitus alenisi kolmanteen osaan, parhaimmillaan kuudenteen osaan kynnetyllä pellon kuormituksesta.

Sänkimuokkaus alentaa erityisesti nitraatin huuhtoutumista. Se alentaa parhaimmillaan myös eroosiota ja partikkelimaisen fosforin huuhtoutumista. Kultivointi ilmeisimmin poikkeaa huomattavasti tässä esitetystä sänkimuokkauksesta, varsinkin jos se tehdään syväälle (väh. 15 cm). Kultivoidulla pellolla fosforin rikastuminen pellon pintakerrokseen ei ehkä ole yhtä voimakasta kuin matalassa muokkauksessa tai sängellä.

Poikittain kynnetyllä maalla muokkauskerroksen valunnassa tuleva kuormitus alenee kaikkien tekijöiden suhteen. Tämä johtuu pelkäästä pintavalunnan vähenemisestä. Pintakerroksen valunnalla on taipumusta kerääntyä padottumisen vuoksi samaan paikkaan, jolloin kynnetyistä maasta helposti irtaantuu enemmän maata liikkeelle. On hyvin todennäköistä, että valuntojen kasvaessa vaikkapa vain hetkellisesti suureksi, niin valunta ylittäessään kyntöviilujen harjat lisää eroosiota moninkertaisesti. Poikittainen kyntö saattaa hidastaa pellon kuivumista keväällä. Näistä haitoista huolimatta poikittainen kyntö on varteenotettava muokkauksena.

Korvattaessa rinnepelloilla syyskynnöksi syysvehnällä, eroosio ja partikkelifosforin huuhtoutuminen alenee parhaimmillaan puoleen ja liukoisen fosforin huuhtoutumisesta ei tapahdu lainkaan muutoksia. Myös typen huuhtoutuminen ajoittain alenee. Jos käytännön viljelyssä halutaan omilla toimilla ratkaisevasti vaikuttaa hajakuormituksen tasoon, tulisi syyskynnösten lisäksi luopua myös syysvehnän viljelystä vesistöjen varrella. Vaihtoehtona luopumiselle olisi leveän suojakaistan perustaminen pellon ja vesistön väliin.

Muokkausmenetelmänä kyntö on edelleen tarpeellinen esim. vanhoja nurmia käännettäessä. Muutos vesistökuormituksessa on huomattava, jos muokkaavat pellot kynnetään vain joka kolmas tai neljäs vuosi ja kynnettäessä sovelletaan poikittaista kyntöä. Poikittaisesta kynnöstä aiheutuva pellon hitaampi kuivuminen jää pieneksi haitaksi harvoin toistuessaan. Keskeistä on se, että muokkauksessa painopiste siirtyisi kevyempiin muokkausmenetelmiin. Tässä on ilmeistä tarvetta kehittää muokkauksineita, joilla voidaan säilyttää kynnön edut, mutta välttää sen haitoilta.

Leveä nurmikaista alentaa tehokkaasti kiintoaineen, partikkelifosforin ja nitraattitypen kuormitusta. Rinteen piteuden kasvaessa suojakaistan yli virtaa moninkertainen valunta sadantaan nähden, jolloin sen teho väistämättä heikkenee.

Suojakaistojen perustaminen valtaojien (väh. 1 m) ja vesistöjen varteen (väh. 3 m) rajoittuvilla pelloilla on vesiensuojelutoimenpiteistä helpoimmin ja nopeimmin toteutettavissa. Kaavamaisesti toteutettuna ne eivät ota riittävästi huomioon eri maalajien erodoituvuutta, peltojen kaltevuutta eikä tuotannon intensiivisyyttä. Paikoin valtaojien varrella ja jokivesistöjen varrella kaistat jäävät riittämättömiksi, eikä niistä saada tavoiteltavaa vesiensuojeluhyötyä. Toisaalta useissa tapauksissa em. kaistat leveydeltään ovat riittäviä tai saattavat olla jopa tarpeettomia.

Liukoisen fosforin huuhtoutuminen on suurelta osin riippuvainen pitkäaikaisen lannoitustason muuttamasta muokkauskerroksen P-luvusta. Siten lannoitustason alentaminen fosforitasoltaan viljavilla mailla on välttämätöntä. Vesiensuojelusta lähtevä kasvikohtainen lannoitussuunnitelma vaikuttaa myös syyskauden nitraattihuuhtoutumiin.

Vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentamisessa sekä alueellisesti että yksittäisillä maatiloilla lähtökohtana tulee olla peltojen viljelykäytäntö, kuormittavat ominaisuudet ja sijainti. Käytännössä tämä merkitsee tilakohtaisesti räätälöityjä vesiensuojelutoimenpiteitä. Kaavamaiset ratkaisut johtavat joko toimenpiteiden alimitoitukseen, joista ei saada tavoiteltavaa hyötyä tai ylimitoitukseen, joista seuraa tarpeettomia kustannuksia.

Vuosittain muokattavan pellon osuus tilan peltoalasta riippuu tuotantosuunnasta. Karjataloilla muokkauksen tarve on oleellisesti pienempi kuin viljataloilla. Kun perusmuokkausmenetelmänä on ollut syyskyntö eikä korvaavia menetelmiä ole juurikaan käytetty, on tämä merkinnyt viljantuotantoalueilla suurta kynnetyin peltoalan osuutta talviaikana. Etelä- ja Lounais-Suomessa onkin odotettavissa merkittäviä vesiensuojeluhyötyjä pelkästään viljelykäytäntöjä muuttamalla, jonne po. toimenpiteet erityisesti on kohdennettava.

Kenttäkokeissa mukana olleita menetelmiä oli lukumäärältään vähän. Näiden perusteella oli kuitenkin todettavissa, että suuruusluokkaerot pitoisuuksissa ja myös valunnan määrässä ovat selkeästi havaittavissa. Pieniä menetelmien välisiä eroja ei voida pitää varmoina tai todellisina muutoksina. Toisaalta pienillä absooluuttisilla eroilla ei enää vesiensuojelussakaan ole sanottavaa merkitystä.

Koekentän ensimmäisen vaiheen jälkeen jäi edelleen tutkittavaksi tai nousi esille uusia tutkittavia kysymyksiä. Keskeisin viljelymenetelmiin liittyvä ympäristöongelma on liukoisen fosforin huuhtoutuminen, mm. mikä lisää liukoisen fosforin huuhtoutumista aurattomassa viljelyssä, kuinka nopeasti muokkauskerroksen fosforitilaa voidaan madaltaa ja miten se vaikuttaa liukoisen fosforin huuhtoutumiseen. Kultivoinnin yleistyttyä voimakkaasti on tarpeen tutkia menetelmän vaikutuksia. Tätä kenttäkoetta käynnistäessä kultivointi oli vielä jokseenkin epätavallinen muokkauskäytäntö. Kasvipeitteisyydestä pitää selvittää nurmen vaikutuksia. Myös suorakylvön merkitys syysviljojen kuormitukseen on selvittämättä. Eri muokkaus- ja viljelymenetelmien tutkimus kulminoituu nitraatin ja liukoisen fosforin huuhtoutumien tutkimiseen. Jos menetelmä pienentää eroosiota, voidaan suoraan todeta sen vähentävän myös paratikkelimaisen fosforin vesistökuormitusta.

## Tiivistelmä

Maatalouden hajakuormitus on kiinteä osa peltoympäristön hydrologista kiertoa. Sen vuosivaihtelusta johtuen kuormitus vaihtelee vuosittain paljon. Keskimääräinen pitkän aikajakson kuormitustaso riippuu maatalouden omista toimista. Hajakuormituksen vähentäminen on tehokkainta valunnan pitoisuuksia alentamalla. Toisaalta myös valuntasuhteita muuttamalla voidaan kuormitusta merkittävästi pienentää. Kokonaisvalunnan määrää riippuu sadannasta ja haihdunnasta, eikä sen kokonaismäärää voida viljelytekniikalla juurikaan muuttaa.

Talviaikainen sänki pienentää eroosiota lähes kolmanteen osaan siitä mitä se olisi syysvehnällä. Partikkelimaisen fosforin pitoisuus alenee tuolloin kolmanteen osaan. Kokonaistypessä kuormitus pienenee kolmanneksella ja nitraattitypen kuormitus alenee puoleen. Liukoisen fosforin huuhtoutuminen sensijaan kasvaa.

Sänkimuokkaus (jostopiikkiäes) alentaa erityisesti nitraattitypen huuhtoutumista. Se alentaa myös eroosiota ja partikkelimaisen fosforin huuhtoutumista. Tämä edellyttää kuitenkin varovaista muokkauskäsittelyä. Kultivointi ilmeisimmin poikkeaa tässä tutkitusta sänkimuokkauksesta, varsinkin jos se tehdään riittävän syväälle (10-15 cm). Kultivoinnissa fosforin rikastuminen pellon pintakerrokseen on ilmeisesti vähäisempää kuin joustopiikkiäkeellä tehdyssä sänkimuokkauksessa. Liukoisen fosforin huuhtoutuminen sänkimuokkauksessa kasvoi huomattavasti.

Poikittain kynnetyllä maalla muokkauskerroksen valunnassa tuleva kuormitus alenee kaikkien tekijöiden suhteen. Tämä johtuu pintavalunnan määrän huomattavasta vähenemisestä. Pintakerroksen valunnalla on kaltevilla pelloilla taipumusta kerääntyä padottumisen vuoksi samaan paikkaan. On hyvin todennäköistä, että valuntojen kasvaessa vaikkapa vain hetkellisesti suureksi, niin valunta ylitteessään kyntöviilujen harjat lisää eroosiota moninkertaisesti. Poikittainen kyntö saattaa hidastaa pellon kuivumista. Haitoistaan huolimatta poikittainen kyntö on varteenotettava muokkaustapa.

Syyskyntö oli tutkittavista käsittelyistä kuormittavin. Sekä eroosio ja partikkelifosforin huuhtoutuminen oli yli 50 % korkeampi kuin syysvehnällä. Liukoisen fosforin huuhtoutumisessa ei tapahdu lainkaan muutoksia. Myös typpikuormitus kynnetyllä maalla on suurempi kuin syysvehnällä.

Jos käytännön viljelyssä halutaan omilla toimilla ratkaisevasti vaikuttaa hajakuormituksen tasoon, tulisi syyskyntöjen lisäksi luopua myös syysvehnän viljelystä vesistöjen varrella. Vaihtoehtona luopumiselle olisi leveän suojakaistan perustaminen pellon ja vesistön väliin.

Muokkausmenetelmänä kyntö on edelleen tarpeellinen esim. vanhoja nurmia käännettäessä. Muutos vesistökuormituksessa on huomattava, jos muokattavat pellot kynnetään vain joka kolmas tai neljäs vuosi ja kynnettäessä sovelletaan poikittaista kyntöä. Poikittaisesta kynnöstä aiheutuva pellon hitaampi kuivuminen jää tällöin pieneksi haitaksi. Keskeistä on se, että muokkauksessa painopiste siirtyisi kevyempiin muokkausmenetelmiin.

Lannoitustason alentaminen pysyvästi on hyvin tarpeellinen toimenpide. Eri-tyisesti liukoisen fosforin huuhtoutuminen on suurelta osin riippuvainen pitkäaikaisen lannoitustason muuttamasta muokkauskerroksen P-luvusta. Vesiensuojelusta lähtevä kasvikohtainen lannoitussuunnitelma vaikuttaa myös syyskauden nitraattihuuhtoutumiin.

Kokonaisfosforin huuhtoutumista on helppo vähentää eroosiota vähentämällä. Liukoisen fosfaattifosforin huuhtoutuminen ei ole riippuvainen eroosiosta. Sama koskee myös nitraatin huuhtoutumista. Liukoisen fosforin huuhtoutumisen vähentäminen pitkällä aikavälillä tulee perustua maan viljavuuden määrittämään fosforilannoitukseen. Ylilannoitetuilla pelloilla tämä edellyttää fosforilannoitteen käytöstä pidättäytymistä, kunnes P-luku laskee tavoitetasoonsa.

Typen osalta lähtökohtana on oltava sadon tarvitsema ravinnemäärää vallitsevissa kasvuoloissa. Kasvukauden jälkeen typpihuuhtoutumat ovat pieniä, jos kasvukauden lannoitetyppi on käytetty kokonaan sadon muodostukseen. Kasvukauden epäedulliset sääolot, joita ei voida ennustaa, poikkeuksetta huonontavat typen hyväksikäyttöastetta.

Talviaikaisen kasvipeitteen sijoittelussa on keskeistä viljelykuvioiden sijainti ja pinta-ala, valtaojien määrä ja vesistöjen läheisyys. Vesistöihin rajoittuvilla pelloilla on säännönmukainen syyskyntö korvattava kevyemmällä muokkausmenetelmällä, jättää muokkaamatta tai viljellä vähemmän kuormittavia kasveja. Sitä suurempi merkitys tällä ratkaisulla on, mitä kaltevampaa pelto on. Myös valtaojiin rajoittuvia viljelykuvioita tulisi tarkastella samalla tavalla. Jos pellon P-luku on korkea, pellon alareunaan on perustettava leveä suojakaista.

Muokkausikäntöjen muuttaminen kevyemmiksi tai talviaikaisen kasvipeitteisyyden lisääminen eivät palauta kuormitusta välittömästi vuosikymmenien takaiselle tasolle, koska peltojen ominaisuudet (mm. P-luku, humus, vedenläpäisevyys) ovat muuttuneet intensiivisen viljelyn kaudella. Tämä vaatii pitkän ajan ja usean vesiensuojelutoimenpiteen yhteisvaikutusta.

Viljely- ja muokkausikäntöjen muuttaminen on joka tapauksessa yksi maatalouden tehokkaimmista vesiensuojelukeinoista koska muutos kohdistuu siihen mistä kuormitus alkaa. Pellon ulkopuoliset keinot pyrkivät vähentämään sitä kuormitusta, joka on jo pelloilta lähtenyt, mutta ei vielä ole ehtinyt vesistöihin saakka.

## Päätösmaininnat

Aurajoen koekentän suunnittelua, perustamista, seuranta ja raportointia useat tahot ja henkilöt avustivat. Käsillä oleva julkaisu on tämän yhteistyön lopputulos.

Tutkimus toteutettiin pääosin virkatyönä Suomen ympäristökeskuksessa (Vesi- ja ympäristöhallitus) ja Lounais-Suomen ympäristökeskuksessa (Lounais-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri). Tutkimusta rahoitti Maa- ja metsätalousministeriö. Tämä oli välttämätöntä koekentän perustamisvaiheessa ja myöhemmin koekentän seurannan ja vesianalyysien tekemiseksi. Turun kaupungilla oli merkittävä osuus tutkimuksessa. Koekekenttä perustettiin kaupungin omistuksessa olevalle peltoalueelle. Turun kaupungin yhdyshenkilönä tutkimuksessa oli agr. Markku Aaltonen. Tutkimuksen eri vaiheissa tehtiin yhteistyötä mm. MTT:n kanssa.

Koekentän suunnittelu- ja toteutusvaiheessa limnologi Pirkko Valpasvuo-Jaatinen esitti runsaasti hyödyllisiä ajatuksia, auttoi käytännön järjestelyissä ja edisti tutkimusta kenttäkokeiden aikana. Koekentän rakentamisvaiheessa oli Lounais-Suomen vesi- ja ympäristöpiiristä useita henkilöitä. Käytännön viljelytyöt koekentällä teki mv. Pekka Wallenius.

Koekentän ylläpidosta, huollosta ja vesinäytteistä vastasi rkm. Kalevi Wallin ja häntä avusti rkm. Alpo Aalto. Koekentän vesianalyysit tehtiin Lounais-Suomen ympäristökeskuksen laboratorioissa kemisti Helmi Kotilaisen valvonnassa.

Tutkimuksen alkuvaiheessa aiheesta tehtiin kirjallisuusselvitys. Selvityksestä DI Ismo Tiainen teki diblomityönsä TKK:lle. Tämän tutkimusraportin viimeiste-lyssä avusti piirtäjä Katri Salmela, toimistosihteeri Anja Tarhonen ja DI Jari Koski-aho.

Kaikille tähän tutkimukseen osallistuneille ja sitä avustaneille haluan esittää parhaimmat kiitokset suuresta avusta.

# Kirjallisuus

- Airaksinen, J. U. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Oulu, Kustannusyhtiö Pohjoinen. 248 s.
- Andraski, B. J., Daniel, T. C., Lowery, B. & Mucller, D. H. 1985. Runoff Results from Natural and Simulated Rainfall for four Tillage Systems. Transactions of the ASAE, 28, 4: 1219-1225.
- Baker, J.L. & Laflen, J.M. 1983. Runoff Losses of Nutrients and Soil from Ground Fall-Fertilized after Soybean Harvest. Transactions of the ASAE, 26, 4: 1122-1127.
- Bengtson, R. L., Carter, C. E., Morris, H. F. & Kowaleczuk, J. G. 1984. Reducing Water Pollution with Subsurface Drainage. Transactions of the ASAE, 27, 1: 1219-1225.
- Bengtson, R. L., Carter, C. E., Morris, H. F. & Bartkiewicz, S. A. 1986. Improving Surface Water Quality with Subsurface Drainage. Proceedings of International Seminar on Land Drainage, 9-11.7.1986. Otaniemi, TKK. s. 356-365.
- Bennett, H. H. 1955. Elements of Soil Conservation. McGraw-Hill Book Company, Inc. USA. 358 s.
- Blevins, R.L., Frye, W.W., Baldwin, P.L. & Robertson, S.D. 1990 Tillage Effects on Sediment and Soluble Nutrient Losses from a Maury Silt Loam Soil. J. Environ. Qual. 19:683-686.
- Bohn, H., McNeal, B. & O Connor, G. 1979. Soil chemistry. New York. 329 p.
- Brink, N. 1984. Faktorer som påverkar växtnäringsförluster i åkermark. Jordbrukets förorening av vattenmiljön. Jordbrukets förorening av vattenmiljön. Tjugonde nordiska symposiet om vattenforskning, 8.-10.5.1984. Helsingfors, Nordforsk, miljövårdsserien, publikation 2: 79-88.
- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1979. Förluster av kväve, fosfor och kalium från åker. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet. Avdelning för vattenvård. Ekohydrologi 4: 7-57.
- Deizman, M. M., Mostaghimi, S., Shanholtz, V. O. & Mitchell, J. K. 1987. Size Distribution of Eroded Sediment from Two Tillage Systems. Transactions of the ASAE, 30, 6: 1642-1647.
- Dickey, E. C., Fennster, C. R., Laflen, J. M. & Mickelson, R. H., 1983. Effects of Tillage on Soil Erosion in a Wheat- Fallow Rotation. Transactions of the ASAE, 26, 3: 814-820.
- Dickey, E. C., Shelton, D. P., Jasa, P. J. & Peterson, T. R. 1984. Tillage, Residue and Erosion on Moderately Sloping Soils. Transactions of the ASAE, 27, 4: 1093 - 1199.
- Dickey, E. C., Shelton, D. P., Jasa, P. J. & Peterson, T. R. 1985. Soil Erosion from tillage Systems Used in Soybean and Corn Residues. Transactions of the ASAE, 28, 4: 1124-1129.
- Edwards, W. M. & Larson, W. D. 1969. Infiltration of water into soils as influenced by surface seal development. Transactions of the ASAE, 12, 463-465.
- Elonen, P. 1991. Peltomaiden happamuuden syyt ja haitat. Kalkitusopas. Maatalouskeskusten liiton julkaisuja 785. Helsinki.
- Elonen, P. 1994. Viljavuustutkimuksen tulkinta muuttuu. Tutkimus- ja tuotantopäivät 3-5.8. 1994. Jokiainen. Moniste.
- Ekholm, P. 1993. Bioavailability of phosphorus in agriculturally loaded rivers in Southern Finland. Hydrobiologia 287: 179-194.
- Ekholm, P. 1998. Algal-available phosphorus originating from agriculture and municipalities. Academic dissertation in limnology. Tampere 1998.
- FAO. 1978. Soil Erosion by Water. Some measures for its control on cultivated lands. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 284 s.
- Foster, G. R. 1982. Modeling the Erosion Process. In: Haan C. T., Johnsson, H. P. & Brakensiek, D.L. 1982. Hydrologic Modeling of Small Watersheds. American Society of Agricultural Engineers, USA. s. 297-380.
- Foth, H.D. 1984. Fundamentals of Soil Science. John Wiley & Sons, USA. 435 s.
- Franzluebbers, A.J., Hons, F.M. & Zuberer, D.A. 1994. Seasonal changes in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management systems. Soil Biol. Biochem. 26,11:1469-1475.
- Free, G. & Bay, C.E. 1969. Tillage and Slope Effects on Runoff and Erosion. Transactions of the ASAE, 12, 2: 209-211.

- Frere, M.H., Seely, E.H. & Leonard, R.A. 1982. Modeling the Quality of Water from Agricultural Land. In Haan, C.T., Johnson, H.P. & Brakensiek, D.L. Hydrologic Modeling of Small Watersheds. American Society of Agricultural Engineers, s. 383-405. USA.
- Gaynor, J.D. & Findlay, W. 1995. Soil and Phosphorus Loss from Conservation and Conventional Tillage in Corn Production. *J. Environ. Qual.* 24:734-731.
- Gilley, J. E., Finkner, S. C. & Varvel, G. E. 1987. Slope Length and Surface Residue Influences on Runoff and Erosion. *Transactions of the ASAE*, 30, 1: 148-151.
- Grönlund, S. 1984. Vantaanjoki ja sen valuma-alue geomorfologisena yksikkönä. Pro gradu -tutkielma Helsingin Yliopiston maantieteen laitoksella. 85 s.
- Grönroos, J., Rekolainen, S. & Nikander, A. 1997. Maatalouden ympäristötuen toimenpiteiden toteutuminen v. 1995. Suomen ympäristö 81, ympäristönsuojelu. Helsinki.
- Grönroos, J., Rekolainen, S., Palva, R., Granlund, K., Bärlund, I., Nikander, A. & Laine, Y. 1998. Maatalouden ympäristötuki. Toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset v. 1995-1997. Suomen ympäristö 239, ympäristönsuojelu. Helsinki.
- Gustafson, A. 1982. Växtnäringsförluster från åkermark i Sverige. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet. *Avdelning för vattenvård. Ekohydrologi* 11: 19-27.
- Gustafson, A. & Torstensson, G. 1984b. Växtnäringsförluster i Offer. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet. *Avdelning för vattenvård. Ekohydrologi* 15: 39-51.
- Gustafson, A. & Torstensson, G. 1984c. Växtnäringsförluster i Vagle. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet. *Avdelning för vattenvård. Ekohydrologi* 15: 27-38.
- Hartikainen, H. 1978. Leaching of plant nutrients from cultivated soils. II. Leaching of anions. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 50: 270-275.
- Hartikainen, H. 1979. Phosphorus and Its Reactions in Terrestrial Soils and Lake Sediments. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*, 51: 537-642.
- Hartikainen, H. 1981. Effect of Decreasing Acidity on the Extractability of Inorganic Soil Phosphorus. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*, 53: 16-26.
- Hartikainen, H. 1981. Keinot maatalouden vesiensuojelun edistämiseksi. 1. Maanviljelys. Lounais-Suomen vesiensuojeluyhdistys ry. Julk. 49. Turku.
- Hartikainen, H. 1983a. Effect of Liming on Phosphorus in Two Soils of Different Organic Matter Content. 1. Changes of Native and Applied Phosphorus in Incubation Experiment. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*, 55: 345-354.
- Hartikainen, H. 1983b. Effect of Liming on Phosphorus in Two Soils of Different Organic Matter Content. 2. Changes in the Availability of Phosphorus to Turnip Rape. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*, 55: 355-362.
- Hartikainen, H. 1984. Suomen maaperässä niukasti fosforia. *Leipä leveämmäksi*, 32, 6: 6-7.
- Hartikainen, H. 1986. Maaveden kemia. Julk.: Mustonen, S. (toim.). *Sovellettu hydrologia. Vesiyhdistys ry. Mänttä*. s. 98-100.
- Haynes, R. J. 1982. Effects of Liming on Phosphate Availability in Acid Soils. *Plant and Soil*, 68: 289-308.
- Hyvärinen, V. 1986. *Sovellettu Hydrologia. Vesiyhdistys ry.*
- Hyvärinen, V. 1986. Valunta, In: Mustonen, S. (toim.) *Sovellettu hydrologia. Helsinki, Vesiyhdistys ry.*, s. 152-160.
- Isotalo, I. 1975. Lounais-Suomen jokivesien laatu ja jokien kuljettamat ainesmäärät. Turun vesipiirin vesitoimiston julkaisuja 42 s.
- Joelsson, A. 1981. Ytavspolning av fosfor från åkermark. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet. *Avdelning för vattenvård. Ekohydrologi* 8: 23-30.
- Johansson, I. 1984. (Editor). *Nordic Glossary of Hydrology. Uppsala 1984.*
- Johnson, H. P., Baker, J. L., Shrader, W. P. & Laflen, J. M. 1979. Tillage System Effects on Sediment and Nutrients in Runoff from Small Watersheds. *Transactions of the ASAE*, 22, 5: 1110-1114.
- Jones, O.R., Hauser, V.L. & Popham, T.W. 1994. No-tillage effects on infiltration, runoff and water conservation on dryland. *Transactions of the ASAE*. 37, 2:473-479.
- Järvinen, E.A. 1978. Astioista ja lysimetrestä tapahtuva haihdunta. Diplomityö teknillisessä korkeakoulussa.
- Kaitera, P. & Teräsvirta, H. 1972. Snow evaporation in South and North Finland, 1969, 1969/1970 and 1970/1971. *Agua Fennica* 1972. s. 11-19.
- Karvonen, T., Lemmelä, R. & Sucksdorff, Y. 1986. Infiltration into a Seasonally Frozen Soil and Modelling of Soil Freezing and Thawing Phenomena. *Proceedings of International Seminar on Land Drainage, 9.-11.7.1986. Otaniemi, TKK*, s. 324-347.

- Kauppi, L. 1979. Phosphorus and nitrogen input from rural population, agriculture and forestfertilization to watercourses. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 34.
- Kauppi, L. 1984. Contributing of agricultural loading to the deterioration of surface waters in Finland. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 57.
- Keeney, D.R. 1989. Sources of Nitrate to Ground Water. *Nitrogen Management and Ground Water Protection* (Toim. Follett R.F.). *Developments in Agricultural and Managed-Forest Ecology* 21, USA. pp. 23-34.
- Kohonen, T. 1982. Havaintotiheyden vaikutus valumavesien laatuarvoihin. *Lisensiaattityö Helsingin Yliopiston limnologian laitoksella*.
- Kolenbrander, G.J. 1975. Nitrogen in organic matter and fertilizer as a source of pollution. *Proceedings of IAWPR*. 1. Kopenhagen.
- Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta. III. 181 p. Helsinki.
- Kuusisto, E. 1980. On the intensity of rainfall in Finland. *Aqua Fennica*, 10: 3-11.
- Kuusisto, E. 1986. Sadanta. In: *Sovellettu hydrologia*. Helsinki, *Vesiyhdistys ry.* s. 29-46.
- Kuusisto, E. 1986. Veden kiertokulku. *Sovellettu Hydrologia*. *Vesiyhdistys ry.*
- Kähäri, J., Mäntylähti, V. & Rannikko, M. 1987. Suomen peltojen viljavuus 1981-1985. *Viljavuuspalvelu Oy*, Helsinki. 105 s.
- Linden, B. 1981. Ammonium- och nitratkvävetts rörelser och fördelning i marken II *Litteraturöversikt*.
- Rapport, Avd. för växtnäringlära, Inst. för markvetenskap, Sver. Lantbr. univ. 132.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A. & Paulhaus, J.L. 1975. *Hydrology for Engineers*. McGraw - Hill, Kogakusha. Tokyo.
- Lunden, K. 1974. Aurajoki liettyneiden ja liuenneiden aineiden kuljettajana vuonna 1973. *Laudatur - tutkielma Turun Yliopiston maantieteen laitoksella*.
- Maasilta, A., Pekkarinen, M., Tuononen, E. & Vakkilainen, P. 1980. Ainehuuhtoutumista pelto- ja metsävaltaisella valuma-alueella Siuntionjoen vesistöissä. *Teknillisen Korkeakoulun vesitekniikan laitos* 18. Otaniemi, Espoo.
- Maatilahallitus 1992. *Maatalouslaskenta 1990 osa 1. Maatilat*. 151 s. Helsinki 1992.
- Mansikkaniemi, H. 1982. Maaperän eroosio intensiivisesti viljellyillä alueilla Lounais-Suomessa. *Turun yliopiston maantieteen laitoksen monisteita* 3.
- Mansikkaniemi, H. 1975. Monthly sedimentation in some reservoirs of hydroelectric stations in Finland. *Societas Geographica Fenniae*. Fennia 143. Helsinki 1975.
- Mansikkaniemi, H. 1982. Soil erosion in areas of intensive cultivation in southwestern Finland. *Fennia* 160, 2: 225-276.
- Marshall, T. J. & Holmes, J. W. 1981. *Soil physics*. Cambridge University Press. England.
- McCarty, G.W. Meisinger, J.J. & Jenniskens, F.M.M. 1995. Relationships between total-N, biomass-N and active-N in soil under different tillage and N fertilizer treatments. *Soil Biol. Biochem.* 27,10:1245-1250.
- McHenry, J. R. & Bubenzer, G.D. 1985. Field Erosion Estimated from <sup>137</sup>Cs Activity Measurements. *Transactions of the ASAE* 28, 2: 480-483.
- Mills, W. B., Porcella, D. B., Ungs, M. J., Gherinini, S. A., Summers, S. A., Lingfung Mok, Rupp, G. L. Bowie, G. L. & Haith, D. A. 1985. *Water Quality Assessment: Part 1*. Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.
- Ministry of Environment. 1988. *Water Protection Program until 1995 in Finland*. Ministry of Environment. Series B 12. Helsinki.
- Mostaghimi, S. Flagg, J.M., Dillaha, T.A. & Shanholtz, V.O. 1988. Phosphorus Losses from Cropland as Affected by Tillage System and Fertilizer Application Method. *Wat. Res. Bull.* 24, 4:735-742.
- Mostaghimi, S., Park, S.W., Cooke, R.A. & Wang, S.Y. 1997. Assessment of management alternatives on a small agricultural watershed. *Wat. Res.* 31,8:1867-1878.
- Mussaari, I. 1974. *Maatalous ja sen vaikutus vesistöjen kuormittajana Lounais-Suomessa*. *Vesihallituksen tiedotus* 79.
- Mustonen, E. & Seuna, P. 1971. *Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan*. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 2. Helsinki.
- Niinivaara, K. 1955. *Haihtumismääristä eri kuukausina*. *Maa- ja vesirakentaja* 2.
- Novotny, V. & Chesters, G. 1981. *Handbook of nonpoint pollution*. Van Nostrand Reinhold Company, USA.



- Patni, N.K., Masse, L. & Yui, P.Y. 1996. Tile effluent quality and chemical losses under conventional and no-tillage-Part 1: Flow and nitrate. *Transactions of the ASAE*. 39, 5:1665-1672.
- Pekkarinen, M. 1979. Ravinteiden huuhtoutuminen Siuntionjoen vesistöalueella. Diplomityö teknillisessä korkeakoulussa.
- Pietiläinen, O-P. & Rekolainen 1991. Dissolved reactive and total phosphorus load from agricultural and forested basins to surface waters in Finland. *Agua Fennica* 21,2:25-32.
- Pitkänen, H., Puolanne, J., Pietarila, M., Lääne, A., Loigu, E., Kuslap, P., & Raia, T. 1988. Pollution load on the Gulf of Finland in 1982-1984. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja* 22. Helsinki.
- Puustinen, M., Merilä, E., Palko, J. & Seuna, P. 1994. Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja sarja A*. Helsinki.
- Rasmussen, K. 1980. Fertilizer application and ground water pollution. *Ann. Agric. Fenn.* 19: 71-80.
- Rekolainen, S. & Kauppi, L. & Turtola, E. 1992. Maatalous ja vesien tila. *Luonnonvarajulkaisuja* 15. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki 1992.
- Rekolainen, S. 1993. Assessment and mitigation of agricultural water pollution. *Publ. Water and Environment Res. Inst.* 12. Helsinki.
- Russel, E. W. 1973. *Soil conditions and plant growth*. London. 849 p.
- Salo, P., Valta, K. & Mansikkaniemi, H. 1985. Lapväärtinjoen ja Hyyppäänjoen valuma-alueiden eroosiotutkimus. *Vesihallituksen tiedotus* 267.
- Saxton, K.E., Kenny, J.F. & McCool, D.K. 1993. Air permeability to define frozen soil infiltration with variable tillage and residue. *Transactions of the ASAE*. 36, 5:1369-1375.
- Schwab, O. G., Frevert, R. K., Edminster, T.W. & Barnes, K.K. 1981. *Soil and Water Conservation Engineering*. John Wiley & Sons, USA.
- Seuna, P. 1977. Kasteluun vaikuttavista hydrometeorologisista tekijöistä. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 24. Helsinki.
- Seuna, P. & Kauppi, L. 1981. Influence of sub-drainage on water quantity and quality in cultivated area in Finland. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja*, 43: 32-47.
- Seuna ja Vehviläinen 1986. Eroosio ja kiintoaineen kulkeutuminen. *Sovellettu Hydrologia*. Vesiyhdistys ry.
- Sharpley, A.N. 1995. Dependence of Runoff Phosphorus on Extractable Soil Phosphorus *Environ. J. Qual.* 24:920-926.
- Sharpley, A.N., Chapra, S.C., Wedepohl, R., Sims, J.T., Daniel, T.C. & Reddy, K.A. 1994. Managing Agricultural Phosphorus for Protection of Surface Waters: Issues and Options. *J. Environ. Qual.* 23:437-451.
- Sibbesen, E., Hansen, A.C., Nielsen, J.D. & Heidmann, T. 1993. Effect of Soil Tillage on Surface Runoff, Soil Erosion and Loss of Phosphorus- Plot studies I. Course and extent of processes. *Proceedings of NJF-seminar no. 228. Soil tillage and environment*. Jokioinen, Finland, 8-10 June (Toim. P. Elonen & J. Pitkönen).
- Skaggs, R. W. & Khaleel, R. 1982. Infiltration. In: Haan C. T., Johnsson, H. P. & Brakensiek, D. L. 1982. *Hydrologic modeling of small watersheds*. American Society of Agricultural Engineers, USA.
- Solantie, R. & Ekholm, M. 1985. Water balance in Finland during the period 1961-1975 as compared to 1931-1960. *Publ. Water Res. Inst.* 59: 24-53.
- Soveri, J. 1986. Routa ja routiminen. In: *Sovellettu hydrologia*. Helsinki, Vesiyhdistys ry. Helsinki.
- Thunholm, B. & Håkansson, 1988. Influence of tillage on frost depth in heavy clay soil. *Swedish J. Agric. Res.* 18: 61-65.
- Tikkanen, M., Seppälä, M. & Heikkinen, O. 1985. Environmental properties and material transport of two rivulets in Lammi, Southern Finland. *Fennia* 163: 217-282.
- Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. 1975. *Soil Fertility and Fertilizers*. Macmillan Publishing Co., Inc., New York.
- Turtola, E. ja Jaakkola, A. 1985. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. *Maatalouden tutkimuskeskuksen tiedote* 6. Jokioinen.
- Turtola, E. ja Jaakkola, A. 1986. Viljelykasvin, lannoituksen ja sadetuksen vaikutus kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, natriumin, sulfaattirikin sekä kloridin huuhtoutumiseen savimaasta. *Maatalouden tutkimuskeskuksen tiedote* 17. Jokioinen.

- Turtola, E. ja Jaakkola, A. 1987. Viljelykasvin vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen savi-  
maasta Jokioisten huuhtoutumiskentällä v. 1983-1986. Maatalouden tutkimuskeskuk-  
sen tiedote 22. Jokioinen.
- Ulén, B. 1982. Erosion an fosfor från åker. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet. Avdelning  
för vattenvård. Ekohydrologi 11: 29-39.
- Ulén, B. 1984. Nitrogen and Phosphorus to Surface Water from Crop Residues. Uppsala, Sve-  
riges lantbruksuniversitet. Avdelning från vattenvård. Ekohydrologi 18: 39-44.
- Ulén, B. 1985. Åkermarkens Erosion. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet. Avdelning från  
vattenvård. Ekohydrologi 20: 26-35.
- Vakkilainen, P. 1986. Haihdunta ja maavedet. In: Sovellettu hydrologia. Helsinki, Vesiyhdistys  
ry.
- Vesihallitus 1986. Maankuivatuksen suunnittelu. Vesihallituksen tiedotus 278. Helsinki.
- Ward, R. C. 1967. Principles of Hydrology. McGraw-Hill Publishing Company Ltd. Great Bri-  
tain.
- White, R. E. 1979. Introduction to the Principles and Practice of Soil Science. Blackwell Scienti-  
fic Publications. Great Britain.
- Wiklander, L. 1970. Utlakning av näringsämnen. I. Halten i dräneringsvatten. Grundförbättr.  
23:117-141.
- Wiklander, L. 1974. Leaching of plant nutrients in soils. I. General principles. Acta Agr. Scand.  
24:347-356.
- Wiklander, L. 1977. Leaching of plant nutrients in soils. IV. Contents of drainage water and  
groun water. Acta Agr. Scand. 27, 3:175-189.
- Ympäristöministeriö 1998. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Suomen ympäristö 226.  
Helsinki.
- Yoo, K.H., Yoon, K.S. & Soileau, J.M. 1993. Runoff curve numbers determined by three metr-  
hods under conventional and conservation tillages. Transactions of the ASAE. 36, 1:57-  
63.
- Yoon, K.S., Yoo, K.H. Soileau, J.M. & Touchton, J.T. 1992. Simulation of Sediment and Plant  
Nutrient Losses by the CREAMS Water Quality Model. Wat. Res. Bull. 28, 6:1013-1020.
- Zachar, D. 1982. Soil Erosion. Elsevier Scientific Publishing Company. Tsekkoslovakia.

## Liite I. Huuhtoutumiskoe kentät Suomessa

Taulukko I/I. Huuhtoutumiskoe kentät.

Koekenttä	Maalaji muokkaus- kerros	jankko	Kaltevuus %	Pinta-ala ha/ruutuja kpl	Valunnan mittaus	Perustettu vuonna	Vastuu laitos
1. Jokioinen (Kotkanoja I)	As	As	2	1,75 16	salaoja + pinta	1975	MTT
2. Liperi	As	As	0,5-1	0,86 16	salaoja + pinta	1978	PKA
3. Tohmajärvi	Ct	Ct	tasainen	n. 1,5 16	salaoja + pinta	1982	MTT
4. Tupos	hapan sulfaattimaa		tasainen	n. 2 5 oj.	salaoja + pinta	1984	PPO
5. Maaninka (lysimetri kenttä)	KHt	KHt/ HHt	1	- 12	salaoja/ pohjavesi	1978 (1985)	PSA
6. Aurajoki	HeSa	As	7-8 12	1,05 0-30 cm	pinta	1988	SYKE/ LOS
7. Jokioinen (Lintupaju)	HsSa/ As	As	12-18	0,75 6	pinta 0-30 cm	1990	MTT
8. Toholampi	Ht/ Hs	Ht/ Hs	1-2		salaoja + pinta	1989	MTT
9. Jokioinen (Kotkanoja II)	As	As	2-3	0,34 8	pinta 0-30 cm	1991	MTT
10. Jokioinen (Ojainen)	HsSa	As	13-18	0,24 12	pinta 0-20 cm	1992	MTT
11. Vihti (Lintula)	HeSa	-	3,7-5,7	3,2 2	salaoja + pinta	1986	KEMIRA
12. Kirkkonummi (Sjökulla)	HsSa/ HsSa	HsSa/ HsSa	3,5-5	4 -	salaoja + pinta	1992	TKK
13. Lapua	HHt	Ht/ Hs	1	3,06	pohjavesi	1993	TKK
14. Tyrnävä	Ht	Ht	0,5	8 3 oj.	pohjavesi	1994	TKK
15. Vihti (Hovi)	HsSa		2,8	12 -	salaoja + pinta	-	SYKE

MTT Maatalouden tutkimuskeskus

PKA Pohjois-Karjalan ympäristökeskus

PPO Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus

PSA Pohjois-Savon ympäristökeskus

SYKE Suomen ympäristökeskus

TKK Teknillinen korkeakoulu

Taulukko 1/2. Toteutuneet (x) ja käynnissä olevat tutkimukset (o) vuonna 1997.

Tutkimusaihe	Koekenttä														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Viljely/lannoitus</b>															
Syysvilja/kevätvilja vertailu	x														
Nurmi/ohra/lannoitetaso vertailu	x														
Luomutuotanto, siirtymävaihe								0							
Ruokohelpi/timoteinurmi			0												
<b>Kesannointi</b>															
Avokesanto		x		x											
Viherkesanto 1/2 vuotinen	x		x												
<b>Muokkausikäytäntö</b>															
Kyntö/sänki vertailu	x														
Kyntö/sänkimuokkaus vertailu	0	x			x						x				
Kyntö/syysvehnä vertailu							x								
Poik. kyntö/syysvehnä vert.							x								
Sänki/syysvehnä vertailu							x								
Sänkimuokkaus/syysv. vert.							x								
<b>Suojavyöhykkeet</b>															
Suojakaistat/kasvillisuus								0							
Nurmikaista/syysvehnä vertailu							x								
Suojakaista/leveys											x				
Suojakaista/muokkaus vertailu								0							
Suojakaista;niitto/ei niittoa											x				
<b>Lietteet</b>															
Jätevesiliete/huhtoutuminen		x													
Lietelannan levitysjankohta		x							x						
Lietelanta/mineraalilannoitus vertailu					x				x						
Lietelanta/mineraalilannoitus vertailu nurmella (sijoitus/pinta)											0				
Lietelanta/bakteerien kulkeutuminen					0										
Tuorehuauman huuhtoutumat					0										
<b>Sulfaattimaiden huuhtoutumat</b>															
Sulfaattien huuhtoutuminen				x											
Kuivatuksen ja pohjaveden korkeuden vaik.			x												
Kalkituksen ja turpeen lisäyksen merkitys				x											
Valtaojan kaivumaiden maanparannus				x											
<b>Torjunta-aineet</b>															
Torjunta-aineiden huuhtoutuminen	x							0	0						
<b>Hydrologia ja huuhtoutuminen</b>															
Säätösalaajitusadotuskastelu/sato vert.												x	x	x	
Valumavesien kierrätys														x	
Kalkkisuodinojitus					0							x			
Valunta ja ravinnehuuhtoutumat												0			x/0
Uusintasalaajitus	x														x
Pellon hydrologia															0
Tasoituskasjako tai ei käytössä		0		0		0				0	0		0	0	

## Liite 2. Perusjakson kalibrointimallit

Taulukko 2/1. Muokauskerroksen valuntojen kalibrointimallit, joissa selittävänä tekijänä on perusruujuen 3 ja 10 valunta ( $q_3$  ja  $q_{10}$ ) sekä perusruudun 3 korjattu valunta ( $q_{3k}$ ).

Ruutu	Kalibrointi malli selittäjä $q_3, q_{3k}$	Selitysaste		Kalibrointi malli selittäjä $q_{10}$	Selitysaste	
		$r^2$	n		$r^2$	n
1	$q_1 = 1,6 + 1,275 \cdot q_3$	0,942	28	$q_1 = 1,2 + 0,914 \cdot q_{10}$	0,963	28
	$q_1 = 1,8 + 0,975 \cdot q_{3k}$	0,951	28			
2	$q_2 = 0,4 + 1,165 \cdot q_3$	0,961	28	$q_2 = 0,1 + 0,827 \cdot q_{10}$	0,965	28
	$q_2 = 0,6 + 0,890 \cdot q_{3k}$	0,970	28			
6	$q_6 = 0,7 + 1,242 \cdot q_3$	0,985	13	$q_6 = -0,2 + 0,930 \cdot q_{10}$	0,995	28
	$q_6 = 1,7 + 0,944 \cdot q_{3k}$	0,965	13			
7	$q_7 = 0,1 + 1,037 \cdot q_3$	0,961	28	$q_7 = -0,2 + 0,743 \cdot q_{10}$	0,981	28
	$q_7 = 0,4 + 0,777 \cdot q_{3k}$	0,932	28			
8	$q_8 = 0,2 + 1,289 \cdot q_3$	0,978	28	$q_8 = -0,2 + 0,918 \cdot q_{10}$	0,988	28
	$q_8 = 0,5 + 0,969 \cdot q_{3k}$	0,957	28			
9	$q_9 = -0,3 + 0,779 \cdot q_3$	0,943	24	$q_9 = -0,2 + 0,709 \cdot q_{10}$	0,986	24

Taulukko 2/2. Muokauskerroksen valunnan kiintoainepitoisuuden kalibrointimallit, joissa selittävänä tekijänä on perusruujuen pitoisuudet ( $s_3$  ja  $s_{10}$ ).

Ruutu	Kalibrointi malli Selittäjä $s_3$	Selitysaste		Kalibrointi malli selittäjä $s_{10}$	Selitysaste	
		$r^2$	n		$r^2$	n
1	$s_1 = 172 + 0,630 \cdot s_3$	0,935	20	$s_1 = 238 + 0,435 \cdot s_{10}$	0,910	20
2	$s_2 = 197 + 0,563 \cdot s_3$	0,937	20	$s_2 = 251 + 0,390 \cdot s_{10}$	0,921	20
4	$s_4 = 38 + 0,915 \cdot s_3$	0,985	18	$s_4 = 136 + 0,631 \cdot s_{10}$	0,960	18
5	$s_5 = 9 + 1,090 \cdot s_3$	0,973	20	$s_5 = 106 + 0,760 \cdot s_{10}$	0,966	20
6	$s_6 = 115 + 0,853 \cdot s_3$	0,979	16	$s_6 = 165 + 0,601 \cdot s_{10}$	0,983	16
7	$s_7 = 160 + 0,776 \cdot s_3$	0,952	20	$s_7 = 227 + 0,542 \cdot s_{10}$	0,947	20
8	$s_8 = 168 + 0,719 \cdot s_3$	0,972	18	$s_8 = 235 + 0,500 \cdot s_{10}$	0,965	18
9	$s_9 = -30 + 1,144 \cdot s_3$	0,961	35	$s_9 = 108 + 0,810 \cdot s_{10}$	0,971	35

Taulukko 2/3. Muokauskerroksen valunnan partikkelifosforipitoisuuden kalibrointimallit, joissa selittävänä tekijänä on perusruujuen pitoisuudet ( $P_3$  ja  $P_{10}$ ).

Ruutu	Kalibrointi malli Selittäjä $P_3$	Selitysaste		Kalibrointi malli selittäjä $P_{10}$	Selitysaste	
		$r^2$	n		$r^2$	n
1	$P_1 = 215 + 0,693 \cdot P_3$	0,946	20	$P_1 = 313 + 0,492 \cdot P_{10}$	0,938	20
2	$P_2 = 331 + 0,637 \cdot P_3$	0,941	20	$P_2 = 434 + 0,449 \cdot P_{10}$	0,920	20
4	$P_4 = 95 + 0,946 \cdot P_3$	0,989	18	$P_4 = 246 + 0,668 \cdot P_{10}$	0,973	18
5	$P_5 = 154 + 1,099 \cdot P_3$	0,971	20	$P_5 = 321 + 0,778 \cdot P_{10}$	0,956	20
6	$P_6 = 2 + 0,919 \cdot P_3$	0,974	16	$P_6 = 77 + 0,662 \cdot P_{10}$	0,979	16
7	$P_7 = 62 + 0,777 \cdot P_3$	0,938	20	$P_7 = 169 + 0,554 \cdot P_{10}$	0,935	20
8	$P_8 = 298 + 0,783 \cdot P_3$	0,967	18	$P_8 = 384 + 0,563 \cdot P_{10}$	0,985	18
9	$P_9 = -95 + 1,074 \cdot P_3$	0,964	35	$P_9 = 142 + 0,771 \cdot P_{10}$	0,971	35

Taulukko 2/4. Muokkauskerroksen valunnan DRP-pitoisuuden kalibrointimallit, joissa selittävänä tekijänä on perusruu-  
tujen pitoisuudet (DRP<sub>3</sub> ja DRP<sub>10</sub>).

Ruutu	Kalibrointi malli	Selitysaste		Kalibrointi malli	Selitysaste	
	Selittäjä DRP <sub>3</sub>	r <sup>2</sup>	n		selittäjä DRP <sub>10</sub>	r <sup>2</sup>
1	DRP <sub>1</sub> = 0,909 · DRP <sub>3</sub>	0,925	20	DRP <sub>1</sub> = 0,896 · DRP <sub>10</sub>	0,939	20
2	DRP <sub>2</sub> = 0,958 · DRP <sub>3</sub>	0,968	20	DRP <sub>2</sub> = 0,940 · DRP <sub>10</sub>	0,976	20
4	DRP <sub>4</sub> = 1,007 · DRP <sub>3</sub>	0,971	18	DRP <sub>4</sub> = 0,990 · DRP <sub>10</sub>	0,978	18
5	DRP <sub>5</sub> = 0,961 · DRP <sub>3</sub>	0,978	20	DRP <sub>5</sub> = 0,935 · DRP <sub>10</sub>	0,967	20
6	DRP <sub>6</sub> = 1,152 · DRP <sub>3</sub>	0,970	16	DRP <sub>6</sub> = 1,129 · DRP <sub>10</sub>	0,979	16
7	DRP <sub>7</sub> = 0,771 · DRP <sub>3</sub>	0,940	20	DRP <sub>7</sub> = 0,756 · DRP <sub>10</sub>	0,946	20
8	DRP <sub>8</sub> = 1,205 · DRP <sub>3</sub>	0,963	18	DRP <sub>8</sub> = 1,183 · DRP <sub>10</sub>	0,969	18
9	DRP <sub>9</sub> = 1,013 · DRP <sub>3</sub>	0,923	35	DRP <sub>9</sub> = 0,952 · DRP <sub>10</sub>	0,880	35

Taulukko 2/5. Muokkauskerroksen valunnan kokonaistypen kalibrointimallit, joissa selittävinä tekijöinä ovat perusruu-  
tujen pitoisuudet (N<sub>3</sub> ja N<sub>10</sub>).

Ruutu	Kalibrointi malli	Selitysaste		Kalibrointi malli	Selitysaste	
	selittäjä N <sub>3</sub>	r <sup>2</sup>	n		selittäjä N <sub>10</sub>	r <sup>2</sup>
1	N <sub>1</sub> = 1,042 · N <sub>3</sub>	0,968	17	N <sub>1</sub> = 0,974 · N <sub>10</sub>	0,952	16
2	N <sub>2</sub> = 1,057 · N <sub>3</sub>	0,891	17	N <sub>2</sub> = 0,961 · N <sub>10</sub>	0,908	16
4	N <sub>4</sub> = 0,913 · N <sub>3</sub>	0,979	13	N <sub>4</sub> = 0,799 · N <sub>10</sub>	0,939	13
5	N <sub>5</sub> = 0,904 · N <sub>3</sub>	0,923	15	N <sub>5</sub> = 0,924 · N <sub>10</sub>	0,929	14
6	N <sub>6</sub> = 0,753 · N <sub>3</sub>	0,952	12	N <sub>6</sub> = 0,756 · N <sub>10</sub>	0,959	11
7	N <sub>7</sub> = 0,945 · N <sub>3</sub>	0,961	17	N <sub>7</sub> = 0,952 · N <sub>10</sub>	0,950	15
8	N <sub>8</sub> = 0,815 · N <sub>3</sub>	0,914	16	N <sub>8</sub> = 0,804 · N <sub>10</sub>	0,945	16
9	N <sub>9</sub> = 1,059 · N <sub>3</sub>	0,958	31	N <sub>9</sub> = 0,957 · N <sub>10</sub>	0,947	31

Taulukko 2/6. Muokkauskerroksen valunnan nitraattityypen pitoisuuden (sis. nitriitin) kalibrointimallit, joissa selittävänä  
tekijänä on perusruu-  
tujen pitoisuudet (Nit<sub>3</sub> ja Nit<sub>10</sub>).

Ruutu	Kalibrointi malli	Selitysaste		Kalibrointi malli	Selitysaste	
	Selittäjä Nit <sub>3</sub>	r <sup>2</sup>	n		selittäjä Nit <sub>10</sub>	r <sup>2</sup>
1	Nit <sub>1</sub> = 1,238 · Nit <sub>3</sub>	0,910	16	Nit <sub>1</sub> = 1,282 · Nit <sub>10</sub>	0,909	16
2	Nit <sub>2</sub> = 1,753 · Nit <sub>3</sub>	0,874	17	Nit <sub>2</sub> = 1,516 · Nit <sub>10</sub>	0,937	17
4	Nit <sub>4</sub> = 0,867 · Nit <sub>3</sub>	0,871	14	Nit <sub>4</sub> = 1,013 · Nit <sub>10</sub>	0,963	14
5	Nit <sub>5</sub> = 0,697 · Nit <sub>3</sub>	0,972	15	Nit <sub>5</sub> = 0,890 · Nit <sub>10</sub>	0,954	15
6	Nit <sub>6</sub> = 0,627 · Nit <sub>3</sub>	0,980	12	Nit <sub>6</sub> = 0,892 · Nit <sub>10</sub>	0,988	12
7	Nit <sub>7</sub> = 1,668 · Nit <sub>3</sub>	0,813	17	Nit <sub>7</sub> = 1,325 · Nit <sub>10</sub>	0,947	16
8	Nit <sub>8</sub> = 1,144 · Nit <sub>3</sub>	0,984	18	Nit <sub>8</sub> = 1,040 · Nit <sub>10</sub>	0,930	16
9	Nit <sub>9</sub> = 1,646 · Nit <sub>3</sub>	0,886	31	Nit <sub>9</sub> = 1,127 · Nit <sub>10</sub>	0,957	32

### Liite 3. Muokkauskerroksen valunta

Muokkauskerroksen valunta (q mm), kausivalunnan osuus (q<sub>an</sub> %) ja pintavalunnan (0-10 cm) osuus (q<sub>0-10</sub> %) muokkauskerroksen valunnasta eri vuodenaikoina (ka. perusruuduista 3 ja 10, <sup>1)</sup>valuntaa viereiseltä ruudulta).

Menetelmä	Ruutu	Syksy 1.9-20.12			Talvi 21.12-28.2			Kevät 1.3-10.5			Koko jakso	
		q mm	q <sub>an</sub> %	q <sub>0-10</sub> %	q mm	q <sub>an</sub> %	q <sub>0-10</sub> %	q mm	q <sub>an</sub> %	q <sub>0-10</sub> %	q mm	q <sub>0-10</sub> %
<b>Koejakso 90-91</b>												
Sänki	8	26	14	39	87	48	92	70	38	87	183	82
Sänki	4	8	7	20	54	49	78	48	44	85	110	77
Sänkimuokkaus	7	26	14	48	111	58	98	53	28	72	190	84
Sänkimuokkaus	2	29	10	28	147	51	93	<sup>1)</sup> 111	39	63	<sup>1)</sup> 287	75
Syysvehnä	9	12	7	73	114	67	97	44	26	86	170	92
Normaali kyntö	6	46	24	46	89	46	92	59	30	0	194	53
Poikittainen kyntö	1	16	14	58	47	42	86	50	44	77	113	78
Poikittainen kyntö	5	4	3	31	53	38	79	81	59	99	138	90
Syysvehnä	3	19	8	24	139	62	61	67	30	53	225	56
Syysvehnä	10	18	7	58	164	67	97	62	26	88	244	92
Keskiarvo		19	8	41	152	65	79	65	28	71	235	74
<b>Koejakso 91-92</b>												
Sänki	8	49	26	41	52	28	96	88	46	55	189	63
Sänki	4	28	20	8	44	32	73	65	48	46	136	47
Sänkimuokkaus	7	52	27	42	25	13	85	118	60	66	195	62
Sänkimuokkaus	2	73	19	32	<sup>1)</sup> 109	28	90	<sup>1)</sup> 208	53	55	<sup>1)</sup> 390	60
Suojakaista	9	26	18	59	55	37	99	67	45	66	148	77
Normaali kyntö	6	74	34	58	41	19	90	104	47	49	219	60
Poikittainen kyntö	1	33	26	47	23	18	78	71	56	49	127	54
Poikittainen kyntö	5	8	13	20	14	23	72	38	63	78	60	69
Syysvehnä	3	54	25	17	68	32	68	92	43	57	214	50
Syysvehnä	10	66	26	34	86	33	96	105	41	59	257	65
Keskiarvo		60	26	26	77	33	82	99	42	58	236	58
<b>Koejakso 92-93</b>												
Sänki	8	102	45	29	45	20	86	79	35	64	226	52
Sänki	4	32	30	28	27	25	71	49	45	65	108	55
Sänkimuokkaus	7	99	41	63	75	31	94	68	28	78	242	77
Sänkimuokkaus	2	126	48	14	59	23	74	76	29	58	261	40
Suojakaista	9	18	22	60	32	39	99	32	39	87	82	86
Normaali kyntö	6	94	49	71	43	22	99	56	29	73	193	78
Poikittainen kyntö	1	57	43	41	23	18	56	52	39	48	132	46
Poikittainen kyntö	5	15	34	24	11	25	95	18	41	82	44	66
Syysvehnä	3	48	35	22	38	28	72	50	37	59	136	49
Syysvehnä	10	58	35	42	48	28	96	62	37	65	168	66
Keskiarvo		53	35	32	43	28	84	56	37	62	152	58
<b>Koejakso 93-94</b>												
Sänki	8	56	37	92	29	19	97	66	44	77	151	86
Sänki	4	69	51	79	36	26	85	31	23	58	136	75
Sänkimuokkaus	7	85	42	92	40	20	99	78	38	83	203	90
Sänkimuokkaus	2	78	35	53	62	28	91	84	37	1	224	44
Suojakaista	9	40	31	90	26	20	99	64	49	94	130	94
Normaali kyntö	6	63	-	10	34	-	3	-	-	-	97	7
Poikittainen kyntö	1	19	24	47	6	8	51	54	68	100	79	84
Poikittainen kyntö	5	9	16	48	4	7	80	44	77	1	57	14
Syysvehnä	3	71	38	71	55	29	92	62	33	55	188	72
Syysvehnä	10	82	36	80	52	23	95	94	41	74	228	81
Keskiarvo		77	37	76	54	26	94	78	37	65	208	77

**Liite 4. Muokkauskerroksen suhteellinen valunta**

Muokkauskerroksen suhteellinen valunta mitatun valunnan ja perusrutuun perustuvan laskennallisen valunnan suhdelukuna ( $q_{3k}$  ja  $q_{10}$ ) eri vuodenaikoina eri käsittelyissä (syysvehnä = 1,00 <sup>1)</sup>valuntaa viereiseltä ruudulta).

Käsittely	Rutu	Syksy 1.9-20.12		Talvi 21.12-28.2		Kevät 1.3-10.5		Koko jakso	
		$q_{3k}$	$q_{10}$	$q_{3k}$	$q_{10}$	$q_{3k}$	$q_{10}$	$q_{3k}$	$q_{10}$
<b>Koejakso 90-91</b>									
Sänki	8	1,10	1,67	0,63	0,58	1,03	1,26	0,79	0,83
Sänkimuokkaus	7	1,44	2,21	1,00	0,92	0,97	1,18	1,04	1,07
Sänkimuokkaus	2	1,30	1,89	1,15	1,08	<sup>1)</sup> 1,76	<sup>1)</sup> 2,14	<sup>1)</sup> 1,35	<sup>1)</sup> 1,41
Normaali kyntö	6	1,38	2,95	0,62	0,59	0,80	1,05	0,77	0,87
Poikittainen kyntö	1	0,46	0,60	0,32	0,30	0,65	0,77	0,44	0,45
<b>Koejakso 91-92</b>									
Sänki	8	0,85	0,83	0,75	0,67	0,95	0,93	0,86	0,82
Sänkimuokkaus	7	1,14	1,11	0,45	0,39	1,59	1,56	1,10	1,05
Sänkimuokkaus	2	1,37	1,33	<sup>1)</sup> 1,70	<sup>1)</sup> 1,53	<sup>1)</sup> 2,39	<sup>1)</sup> 2,38	<sup>1)</sup> 1,91	<sup>1)</sup> 1,83
Suojakaista	9	0,67	0,58	1,06	0,91	0,96	0,91	0,92	0,83
Normaali kyntö	6	1,10	1,24	0,56	0,52	1,02	1,08	0,90	0,93
Poikittainen kyntö	1	0,46	0,45	0,30	0,27	0,68	0,67	0,50	0,48
<b>Koejakso 92-93</b>									
Sänki	8	1,96	1,98	1,17	1,04	1,52	1,40	1,59	1,49
Sänkimuokkaus	7	2,40	2,43	2,44	2,16	1,64	1,50	2,13	2,01
Sänkimuokkaus	2	2,60	2,61	1,64	1,48	1,57	1,45	1,97	1,86
Suojakaista	9	0,53	0,46	1,10	0,95	0,85	0,74	0,81	0,71
Normaali kyntö	6	1,49	1,81	1,05	0,98	0,97	0,97	1,19	1,26
Poikittainen kyntö	1	0,86	0,87	0,54	0,49	0,87	0,81	0,78	0,74
<b>Koejakso 93-94</b>									
Sänki	8	0,78	0,76	0,53	0,61	1,04	0,77	0,79	0,73
Sänkimuokkaus	7	1,48	1,42	0,92	1,04	1,56	1,14	1,33	1,22
Sänkimuokkaus	2	1,17	1,15	1,24	1,44	1,43	1,07	1,28	1,18
Suojakaista	9	0,74	0,71	0,62	0,72	1,35	0,96	0,91	0,82
Normaali kyntö	6	0,83	0,83	0,62	0,71	-	-	-	-
Poikittainen kyntö	1	0,24	0,23	0,11	0,12	0,75	0,57	0,38	0,35



## Liite 5. Muokkauskerroksen valunnan kiintoainepitoisuus

Muokkauskerroksen (0-30 cm) valunnan kiintoainepitoisuus (mg l<sup>-1</sup>) ja sameus eri vuodenaikoina ja eri viljelymenetel- millä (ka. perusruuduista, <sup>1</sup>valuntaa viereiseltä ruudulta).

Menetelmä	Ruutu	Syksy 1.9-20.12		talvi 21.12-28.2		kevät 1.3-10.5		Koko jakso	
		ka	sameus	ka	sameus	ka	sameus	ka	sameus
<b>Koejakso 90-91</b>									
Sänki	8	495	795	60	25	335	290	225	235
Sänki	4	470	465	50	25	280	235	180	150
Sänkimuokkaus	7	1450	1620	315	285	530	510	530	530
Sänkimuokkaus	2	1250	1420	280	215	<sup>1</sup> 455	440	<sup>1</sup> 445	420
Syysvehnä	9	1780	1950	205	120	655	515	430	350
Normaali kyntö	6	2125	2075	385	220	625	520	870	750
Poikittainen kyntö	1	785	705	255	170	490	420	430	355
Poikittainen kyntö	5	1875	2095	270	245	590	545	510	480
Syysvehnä	3	1435	1530	245	145	550	495	435	365
Syysvehnä	10	1705	1890	165	125	695	675	410	395
Keskiarvo		1570	1710	205	145	625	585	425	380
<b>Koejakso 91-92</b>									
Sänki	8	500	-	190	-	215	110	290	-
Sänki	4	545	-	230	-	205	100	290	-
Sänkimuokkaus	7	1115	-	565	-	330	190	560	-
Sänkimuokkaus	2	1165	-	<sup>1</sup> 405	-	<sup>1</sup> 430	155	<sup>1</sup> 570	-
Suojakaista	9	865	-	425	-	290	105	440	-
Normaali kyntö	6	3230	-	975	-	460	205	1520	-
Poikittainen kyntö	1	710	-	400	-	400	180	480	-
Poikittainen kyntö	5	2580	-	560	-	660	210	940	-
Syysvehnä	3	1625	-	515	-	505	170	810	-
Syysvehnä	10	2120	-	905	-	420	180	1020	-
Keskiarvo		1875	-	710	-	465	175	915	-
<b>Koejakso 92-93</b>									
Sänki	8	705	670	505	555	540	590	610	620
Sänki	4	600	605	480	610	480	515	515	565
Sänkimuokkaus	7	1175	1180	1555	1725	1140	1245	1285	1365
Sänkimuokkaus	2	1050	1095	1135	1380	995	1005	1050	1130
Suojakaista	9	570	515	650	730	500	500	575	595
Normaali kyntö	6	1505	1615	1700	1905	1460	1600	1535	1675
Poikittainen kyntö	1	780	680	790	840	665	595	735	675
Poikittainen kyntö	5	1035	1005	1675	2105	1555	1520	1415	1495
Syysvehnä	3	1225	1210	1035	1175	825	795	1020	1045
Syysvehnä	10	1490	1430	1310	1465	960	1025	1240	1285
Keskiarvo		1360	1320	1175	1320	895	910	1130	1165
<b>Koejakso 93-94</b>									
Sänki	8	210	180	90	30	120	70	150	105
Sänki	4	225	220	75	15	265	225	195	170
Sänkimuokkaus	7	375	390	140	100	210	210	265	265
Sänkimuokkaus	2	465	475	230	240	315	320	345	350
Suojakaista	9	265	240	135	90	110	90	160	135
Normaali kyntö	6	765	780	230	180	-	-	-	-
Poikittainen kyntö	1	295	255	165	90	585	225	485	220
Poikittainen kyntö	5	370	320	145	75	585	510	515	445
Syysvehnä	3	700	740	250	270	600	535	535	535
Syysvehnä	10	420	305	170	140	190	155	270	205
Keskiarvo		560	525	210	205	395	345	405	370

## Liite 6. Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen kiintoainepitoisuus

Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen kiintoainepitoisuus havaitun ja laskennallisen pitoisuuden suhdelukuna ( $s_3$  ja  $s_{10}$ ) eri vuodenaikoina eri käsittelyissä (syysvehnä = 1,00, <sup>1)</sup>valunnassa viereisen koeruudun valuntaa).

jakso/ menetelmä	Ruutu	Syksy 1.9-20.12		Talvi 21.12-28.2		Kevät 1.3-10.5		Koko jakso		
		$s_3$	$s_{10}$	$s_3$	$s_{10}$	$s_3$	$s_{10}$	$s_3$	$s_{10}$	
<b>Koejakso 90-91</b>										
Sänki	8	0,42	0,45	0,17	0,18	0,60	0,58	0,46	0,51	
Sänki	4	0,30	0,35	0,20	0,21	0,53	0,48	0,39	0,39	
Sänkimuokkaus	7	1,15	1,24	0,90	0,99	0,91	0,88	1,06	1,19	
Sänkimuokkaus	2	1,25	1,36	0,84	0,89	<sup>1)</sup> 0,90	<sup>1)</sup> 0,87	<sup>1)</sup> 0,99	<sup>1)</sup> 1,07	
Normaali kyntö	6	1,62	1,76	1,21	1,47	1,07	1,07	1,69	2,12	
Poikittainen kyntö	1	0,75	0,85	0,78	0,82	0,94	0,91	0,93	1,01	
Poikittainen kyntö	5	1,03	1,17	1,25	1,29	1,02	0,95	1,06	1,03	
<b>Koejakso 91-92</b>										
Sänki	8	0,37	0,38	0,35	0,27	0,40	0,48	0,38	0,39	
Sänki	4	0,35	0,35	0,44	0,32	0,31	0,46	0,35	0,37	
Sänkimuokkaus	7	0,79	0,80	1,00	0,79	0,59	0,73	0,71	0,73	
Sänkimuokkaus	2	1,05	1,08	<sup>1)</sup> 0,83	<sup>1)</sup> 0,67	<sup>1)</sup> 0,89	<sup>1)</sup> 1,04	<sup>1)</sup> 0,87	<sup>1)</sup> 0,88	
Suojakaista	9	0,47	0,47	0,77	0,51	0,54	0,65	0,50	0,47	
Normaali kyntö	6	2,17	2,23	1,72	1,38	0,80	1,11	1,81	1,96	
Poikittainen kyntö	1	0,60	0,62	0,78	0,63	0,78	0,93	0,68	0,69	
Poikittainen kyntö	5	1,09	1,15	0,99	0,71	0,96	1,73	1,01	1,31	
<b>Koejakso 92-93</b>										
Sänki	8	0,67	0,72	0,55	0,57	0,71	0,75	0,67	0,71	
Sänki	4	0,52	0,52	0,51	0,51	0,56	0,66	0,53	0,57	
Sänkimuokkaus	7	1,05	1,14	1,60	1,66	1,43	1,53	1,34	1,43	
Sänkimuokkaus	2	1,17	1,26	1,44	1,49	1,50	1,59	1,35	1,43	
Suojakaista	9	0,42	0,44	0,57	0,56	0,55	0,56	0,51	0,52	
Normaali kyntö	6	1,27	1,42	1,66	1,79	1,77	1,97	1,52	1,69	
Poikittainen kyntö	1	0,81	0,86	0,93	0,97	0,95	1,01	0,88	0,93	
Poikittainen kyntö	5	0,92	0,95	1,58	1,61	1,30	1,68	1,24	1,40	
<b>Koejakso 93-94</b>										
Sänki	8	0,32	0,48	0,26	0,28	0,21	0,37	0,27	0,40	
Sänki	4	0,36	0,58	0,28	0,31	0,46	0,88	0,37	0,59	
Sänkimuokkaus	7	0,54	0,83	0,39	0,43	0,34	0,64	0,46	0,72	
Sänkimuokkaus	2	0,79	1,12	0,68	0,73	0,59	0,97	0,69	0,97	
Suojakaista	9	0,34	0,59	0,53	0,55	0,17	0,42	0,28	0,50	
Normaali kyntö	6	1,08	1,83	0,69	0,85	-	-	-	-	
Poikittainen kyntö	1	0,49	0,70	0,50	0,52	1,09	1,82	0,96	1,37	
Poikittainen kyntö	5	0,51	0,86	0,52	0,62	0,89	1,91	0,81	1,63	

## Liite 7. Muokkauskerroksen valunnan fosforipitoisuus

Muokkauskerroksen valunnan partikkelifosforin ( $P_{part}$ ) ja liukoisen fosforin (DRP) pitoisuudet ( $mg\ l^{-1}$ ) ja DRP:n osuus kokonaisfosforista ( $DRP_{\%}$ ) eri vuodenaikoina eri käsittelyissä (ka. peruseruuduista, <sup>1)</sup>valuntaa viereiseltä ruudulta).

Menetelmä	Ruutu	Syksy 1.9-20.12			Talvi 21.12-28.2			Kevät 1.3-10.5			Koko jakso		
		$P_{part}$	DRP	$DRP_{\%}$	$P_{part}$	DRP	$DRP_{\%}$	$P_{part}$	DRP	$DRP_{\%}$	$P_{part}$	DRP	$DRP_{\%}$
<b>Koejakso 90-91</b>													
Sänki	8	0,87	0,46	34,6	0,11	0,20	64,3	0,50	0,33	39,7	0,37	0,29	43,7
Sänki	4	0,83	0,35	29,6	0,16	0,16	49,6	0,41	0,23	36,0	0,32	0,20	39,0
Sänkimuokkaus	7	2,69	0,36	11,8	0,55	0,22	28,4	<sup>1)</sup> 0,82	0,26	24,0	<sup>1)</sup> 0,92	0,25	21,3
Sänkimuokkaus	2	2,44	0,32	11,4	0,86	0,22	20,4	<sup>1)</sup> 0,73	<sup>1)</sup> 0,24	24,9	<sup>1)</sup> 0,97	<sup>1)</sup> 0,24	19,7
Syysvehnä	9	3,15	0,44	12,2	0,37	0,13	26,7	0,90	0,22	19,3	0,70	0,18	20,1
Normaali kyntö	6	3,67	0,32	8,0	0,62	0,23	27,3	0,91	0,24	20,6	1,43	0,25	15,1
Poikittainen kyntö	1	1,47	0,25	14,3	0,63	0,22	25,8	0,78	0,20	20,2	0,81	0,21	20,7
Poikittainen kyntö	5	2,99	0,29	8,9	0,47	0,19	28,6	0,87	0,19	18,1	0,78	0,19	19,8
Syysvehnä	3	2,61	0,34	11,7	0,61	0,15	19,9	0,81	0,23	22,4	0,84	0,19	18,7
Syysvehnä	10	3,23	0,33	9,3	0,29	0,12	30,0	1,07	0,26	19,5	0,70	0,17	19,8
Keskiarvo		2,92	0,34	10,5	0,45	0,14	25,0	0,94	0,25	21,0	0,77	0,18	19,3
<b>Koejakso 91-92</b>													
Sänki	8	0,87	0,66	43,3	0,51	0,29	35,8	0,31	0,36	54,1	0,51	0,43	45,8
Sänki	4	1,49	0,50	25,1	0,71	0,30	29,6	0,30	0,31	51,3	0,67	0,35	34,4
Sänkimuokkaus	7	2,06	0,49	19,1	0,97	0,35	26,6	0,46	0,26	36,7	0,94	0,33	26,1
Sänkimuokkaus	2	2,40	0,41	14,7	<sup>1)</sup> 0,76	<sup>1)</sup> 0,34	30,5	<sup>1)</sup> 0,68	<sup>1)</sup> 0,27	28,8	<sup>1)</sup> 1,04	<sup>1)</sup> 0,32	23,3
Suojakaista	9	1,42	0,41	22,2	0,70	0,31	30,7	0,40	0,19	32,2	0,67	0,27	28,1
Normaali kyntö	6	6,35	0,31	4,7	1,44	0,28	16,4	0,62	0,23	27,4	2,77	0,27	8,8
Poikittainen kyntö	1	1,27	0,29	18,6	0,66	0,27	28,9	0,62	0,22	26,3	0,79	0,25	23,7
Poikittainen kyntö	5	4,21	0,32	7,2	0,78	0,38	32,8	1,05	0,20	16,2	1,50	0,24	13,9
Syysvehnä	3	2,90	0,32	10,0	0,82	0,27	24,8	0,76	0,21	21,7	1,35	0,26	15,9
Syysvehnä	10	3,70	0,32	7,9	1,49	0,24	13,8	0,64	0,18	21,9	1,71	0,23	12,0
Keskiarvo		3,30	0,32	9,0	1,16	0,26	19,3	0,70	0,20	21,8	1,53	0,25	14,0
<b>Koejakso 92-93</b>													
Sänki	8	1,44	0,71	32,8	1,04	0,59	36,4	1,11	0,43	28,4	1,25	0,59	32,2
Sänki	4	1,25	0,53	29,9	1,01	0,39	27,6	0,91	0,33	26,7	1,04	0,40	28,1
Sänkimuokkaus	7	2,24	0,47	17,3	3,09	0,44	12,4	1,88	0,38	16,7	2,41	0,43	15,3
Sänkimuokkaus	2	2,15	0,37	14,8	2,72	0,35	11,5	1,82	0,30	14,4	2,18	0,35	13,8
Suojakaista	9	1,14	0,40	25,9	1,24	0,26	17,5	0,75	0,23	26,0	1,02	0,28	21,9
Normaali kyntö	6	2,62	0,38	12,6	3,17	0,31	9,0	2,78	0,29	9,6	2,79	0,34	10,9
Poikittainen kyntö	1	1,44	0,28	16,4	1,63	0,30	15,4	0,97	0,25	20,9	1,29	0,27	17,6
Poikittainen kyntö	5	1,82	0,36	16,5	3,17	0,31	9,0	2,56	0,29	10,2	2,47	0,32	11,4
Syysvehnä	3	2,44	0,37	13,0	2,06	0,23	9,9	1,36	0,23	14,3	1,93	0,27	12,5
Syysvehnä	10	2,95	0,34	10,3	2,50	0,22	8,2	1,50	0,23	13,5	2,28	0,27	10,5
Keskiarvo		2,70	0,36	11,7	2,28	0,23	9,1	1,43	0,23	13,9	2,11	0,27	11,5
<b>Koejakso 93-94</b>													
Sänki	8	0,39	0,64	62,3	0,16	0,36	69,6	0,15	0,24	61,6	0,24	0,41	63,2
Sänki	4	0,40	0,45	53,4	0,08	0,14	65,0	0,39	0,31	44,4	0,31	0,34	52,2
Sänkimuokkaus	7	0,62	0,45	42,4	0,20	0,28	59,0	0,30	0,21	41,0	0,41	0,33	44,1
Sänkimuokkaus	2	0,81	0,39	32,4	0,36	0,25	41,2	0,49	0,22	30,6	0,56	0,29	33,6
Suojakaista	9	0,41	0,37	47,8	0,14	0,24	63,2	0,18	0,16	47,2	0,24	0,24	50,0
Normaali kyntö	6	1,26	0,37	22,6	0,32	0,21	40,3	-	-	-	-	-	-
Poikittainen kyntö	1	0,49	0,33	40,2	0,13	0,36	73,3	0,78	0,19	19,7	0,67	0,24	26,1
Poikittainen kyntö	5	0,62	0,42	40,3	0,18	0,23	56,8	0,80	0,22	21,8	0,74	0,26	25,7
Syysvehnä	3	1,05	0,33	23,6	0,37	0,14	27,5	0,89	0,30	25,5	0,80	0,26	24,8
Syysvehnä	10	0,47	0,31	39,6	0,23	0,15	39,9	0,24	0,14	36,7	0,32	0,20	38,8
Keskiarvo		0,76	0,32	31,6	0,30	0,15	33,7	0,57	0,22	31,1	0,56	0,23	31,8

## Liite 8. Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen partikkelifosforipitoisuus

Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen partikkelifosforipitoisuus havaitun pitoisuuden ja laskennallisten pitoisuuksiin suhdelukuna eri vuodenaikoina ( $P_3$  ja  $P_{10}$ ) eri käsittelyissä (syysvehnä = 1,00, <sup>1)</sup>valuntaa viereiseltä ruudulta).

Jakso/ menetelmä	Ruutu	Syysy 1.9.20.12		Talvi 21.12-28.2		Kevät 1.3-10.5		Koko jakso	
		$P_3$	$P_{10}$	$P_3$	$P_{10}$	$P_3$	$P_{10}$	$P_3$	$P_{10}$
<b>Koejakso 90-91</b>									
Sänki	8	0,37	0,39	0,14	0,20	0,54	0,51	0,38	0,47
Sänki	4	0,29	0,31	0,28	0,37	0,48	0,44	0,37	0,39
Sänkimuokkaus	7	1,29	1,33	1,04	1,68	1,18	1,08	1,27	1,68
Sänkimuokkaus	2	1,23	1,30	1,20	1,52	<sup>1)</sup> 0,86	<sup>1)</sup> 0,80	<sup>1)</sup> 1,11	<sup>1)</sup> 1,29
Normaali kyntö	6	1,56	1,63	1,14	2,32	1,22	1,16	1,76	2,67
Poikittainen kyntö	1	0,74	0,82	1,01	1,39	1,00	0,93	0,98	1,20
Poikittainen kyntö	5	0,86	0,92	0,94	0,94	0,83	0,74	0,86	0,80
<b>Koejakso 91-92</b>									
Sänki	8	0,34	0,35	0,54	0,42	0,34	0,41	0,37	0,38
Sänki	4	0,50	0,50	0,80	0,57	0,28	0,39	0,46	0,48
Sänkimuokkaus	7	0,90	0,93	1,38	0,98	0,69	0,89	0,84	0,85
Sänkimuokkaus	2	1,11	1,14	<sup>1)</sup> 0,89	<sup>1)</sup> 0,69	<sup>1)</sup> 0,82	<sup>1)</sup> 0,94	<sup>1)</sup> 0,86	<sup>1)</sup> 0,87
Suojakaista	9	0,47	0,47	0,91	0,54	0,58	0,65	0,51	0,47
Normaali kyntö	6	2,43	2,50	1,84	1,36	0,82	1,24	2,13	2,31
Poikittainen kyntö	1	0,58	0,60	0,82	0,63	0,79	0,95	0,66	0,67
Poikittainen kyntö	5	0,98	0,98	0,74	0,53	0,85	1,36	0,89	1,07
<b>Koejakso 92-93</b>									
Sänki	8	0,65	0,71	0,54	0,58	0,82	0,90	0,68	0,75
Sänki	4	0,52	0,53	0,52	0,54	0,61	0,76	0,55	0,60
Sänkimuokkaus	7	1,14	1,25	1,84	2,00	1,68	1,88	1,53	1,69
Sänkimuokkaus	2	1,13	1,22	1,64	1,75	1,53	1,65	1,39	1,50
Suojakaista	9	0,45	0,47	0,59	0,60	0,54	0,57	0,52	0,54
Normaali kyntö	6	1,14	1,29	1,62	1,83	2,24	2,60	1,53	1,76
Poikittainen kyntö	1	0,74	0,80	0,97	1,05	0,85	0,94	0,81	0,89
Poikittainen kyntö	5	0,75	0,79	1,41	1,47	1,20	1,59	1,09	1,25
<b>Koejakso 93-94</b>									
Sänki	8	0,35	0,60	0,26	0,30	0,15	0,28	0,26	0,42
Sänki	4	0,41	0,71	0,17	0,20	0,42	0,84	0,38	0,63
Sänkimuokkaus	7	0,71	1,45	0,56	0,67	0,40	0,98	0,61	1,19
Sänkimuokkaus	2	0,82	1,25	0,65	0,67	0,55	0,90	0,68	0,98
Suojakaista	9	0,39	0,81	0,45	0,43	0,21	0,53	0,31	0,61
Normaali kyntö	6	1,35	3,24	0,90	1,39	-	-	-	-
Poikittainen kyntö	1	0,53	0,89	0,27	0,30	0,96	1,80	0,88	1,41
Poikittainen kyntö	5	0,52	0,90	0,31	0,35	0,71	1,39	0,67	1,25

## Liite 9. Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen DRP-pitoisuus

Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen DRP-pitoisuus koejaksoilla havaitun pitoisuuden ja laskennallisten pitoisuuksien suhdelukuna (DRP<sub>3</sub> ja DRP<sub>10</sub>) eri vuodenaikoina eri käsittelyissä (syysvehnä = 1,00, <sup>1)</sup>valuntaa viereiseltä ruudulta).

Jakso/ menetelmä	Ruutu	Syksy 1.9-20.12		Talvi 21.12-28.2		Kevät 1.3-10.5		Koko jakso		
		DRP <sub>3</sub>	DRP <sub>10</sub>	DRP <sub>3</sub>	DRP <sub>10</sub>	DRP <sub>3</sub>	DRP <sub>10</sub>	DRP <sub>3</sub>	DRP <sub>10</sub>	
<b>Koejakso 90-91</b>										
Sänki	8	1,06	1,17	1,04	1,35	1,12	1,07	1,17	1,40	
Sänki	4	0,97	1,05	0,93	1,25	0,98	0,84	0,96	0,99	
Sänkimuokkaus	7	1,20	1,32	1,67	2,15	1,28	1,21	1,48	1,77	
Sänkimuokkaus	2	0,92	1,01	1,47	1,90	<sup>1)</sup> 1,04	<sup>1)</sup> 0,99	<sup>1)</sup> 1,24	<sup>1)</sup> 1,46	
Normaali kyntö	6	0,76	0,86	1,28	1,68	0,84	0,81	1,07	1,32	
Poikittainen kyntö	1	0,80	0,87	1,66	2,11	0,96	0,91	1,22	1,42	
Poikittainen kyntö	5	0,89	0,95	1,08	1,67	0,92	0,91	0,97	1,09	
<b>Koejakso 91-92</b>										
Sänki	8	1,33	1,55	1,64	1,76	0,85	1,01	1,33	1,55	
Sänki	4	1,36	1,55	1,51	1,61	1,06	1,26	1,36	1,55	
Sänkimuokkaus	7	1,51	1,74	1,75	1,86	1,51	1,78	1,50	1,74	
Sänkimuokkaus	2	1,24	1,43	<sup>1)</sup> 1,29	<sup>1)</sup> 1,38	<sup>1)</sup> 1,27	<sup>1)</sup> 1,50	<sup>1)</sup> 1,24	<sup>1)</sup> 1,43	
Suojakaista	9	1,11	1,28	1,33	1,42	1,22	1,44	1,11	1,28	
Normaali kyntö	6	0,86	1,02	0,79	0,87	0,88	1,05	0,86	1,02	
Poikittainen kyntö	1	1,08	1,24	1,03	1,09	1,15	1,36	1,08	1,24	
Poikittainen kyntö	5	1,18	1,41	1,04	1,12	1,46	1,73	1,18	1,41	
<b>Koejakso 92-93</b>										
Sänki	8	1,55	1,76	2,07	2,23	1,51	1,57	1,70	1,86	
Sänki	4	1,37	1,59	1,63	1,78	1,38	1,40	1,43	1,55	
Sänkimuokkaus	7	1,49	1,68	2,22	2,37	1,91	1,96	1,82	1,98	
Sänkimuokkaus	2	1,03	1,17	1,58	1,68	1,35	1,39	1,82	1,40	
Suojakaista	9	1,15	1,30	1,22	1,30	1,09	1,11	1,07	1,16	
Normaali kyntö	6	0,86	0,99	1,13	1,24	1,06	1,12	1,01	1,13	
Poikittainen kyntö	1	0,89	1,00	1,47	1,58	1,25	1,29	1,11	1,22	
Poikittainen kyntö	5	0,97	1,14	1,43	1,56	1,26	1,28	1,17	1,28	
<b>Koejakso 93-94</b>										
Sänki	8	1,57	1,76	2,01	1,97	0,64	1,43	1,24	1,70	
Sänki	4	1,30	1,52	0,97	0,95	1,00	2,05	1,18	1,50	
Sänkimuokkaus	7	1,62	1,79	2,31	2,24	0,80	1,78	1,43	1,93	
Sänkimuokkaus	2	1,20	1,33	1,80	1,74	0,73	1,62	1,10	1,49	
Suojakaista	9	1,22	1,34	1,76	1,72	0,55	1,23	0,86	1,31	
Normaali kyntö	6	0,93	1,06	1,25	1,25	-	-	-	-	
Poikittainen kyntö	1	1,13	1,26	2,87	2,79	0,75	1,61	1,02	1,37	
Poikittainen kyntö	5	1,31	1,51	1,68	1,64	0,78	1,56	0,91	1,55	

## Liite 10. Muokkauskerroksen valunnan typpipitoisuus

Muokkauskerroksen (0-30 cm) valunnan kokonaistypen ( $N_{tot}$ ) ja nitraatti-nitriittitypen ( $NO_3-N$ ) pitoisuus  $mg\ l^{-1}$  ja nitraatti-nitriitin osuus ( $NO_3\ %$ ) kokonaistypestä eri vuodenaikoina eri käsittelyissä (ka. perusruuuduista  $^{1)}$ valunt. vier.ruud)

Menetelmä	Ruutu	Syksy 1.9-20.12			Talvi 21.12-28.2			Kevät 1.3-10.5			Koko jakso		
		$N_{tot}$	$NO_3-N$	$NO_3\ %$	$N_{tot}$	$NO_3-N$	$NO_3\ %$	$N_{tot}$	$NO_3-N$	$NO_3\ %$	$N_{tot}$	$NO_3-N$	$NO_3\ %$
<b>Koejakso 90-91</b>													
Sänki	8	3,22	0,66	20,4	1,06	0,50	47,4	3,58	2,22	62,0	2,34	1,19	50,8
Sänki	4	2,27	0,45	19,9	0,80	0,31	38,9	2,61	1,41	54,1	1,69	0,80	47,3
Sänkimuokkaus	7	4,86	1,58	32,5	1,66	0,68	41,2	5,90	3,94	66,8	3,28	1,71	52,1
Sänkimuokkaus	2	5,58	1,92	34,4	1,38	0,53	38,8	<sup>1)</sup> 5,62	<sup>1)</sup> 3,67	65,2	<sup>1)</sup> 3,43	<sup>1)</sup> 1,88	54,8
Syysvehnä	9	9,14	6,14	67,2	1,56	0,87	56,0	6,82	4,98	73,1	3,44	2,30	66,8
Normaali kyntö	6	6,43	2,15	33,5	2,93	1,53	52,2	6,28	5,62	89,5	4,78	2,93	61,3
Poikittainen kyntö	1	5,29	2,61	49,4	2,38	1,55	65,0	6,44	3,93	61,1	4,58	2,75	60,0
Poikittainen kyntö	5	4,86	1,92	39,6	1,85	1,16	62,5	5,67	3,93	69,2	4,19	2,81	67,0
Syysvehnä	3	5,67	2,79	49,3	1,52	0,88	57,9	6,29	4,67	74,3	3,28	2,16	65,9
Syysvehnä	10	6,54	3,81	58,3	1,55	0,83	53,4	6,79	4,48	65,9	3,25	1,97	60,7
Keskiarvo		6,11	3,30	53,8	1,54	0,86	55,7	6,54	4,58	70,1	3,27	2,07	63,3
<b>Koejakso 91-92</b>													
Sänki	8	4,25	0,42	10,0	1,10	0,50	45,4	2,79	1,73	62,1	2,83	1,11	39,1
Sänki	4	1,88	0,26	13,6	0,78	0,35	44,6	2,34	1,06	45,1	1,86	0,70	37,8
Sänkimuokkaus	7	4,28	0,42	9,9	2,31	0,75	32,3	3,52	2,08	59,0	3,58	1,48	41,3
Sänkimuokkaus	2	3,67	0,42	11,5	<sup>1)</sup> 1,05	<sup>1)</sup> 0,56	53,2	<sup>1)</sup> 2,75	<sup>1)</sup> 1,45	52,9	<sup>1)</sup> 2,56	<sup>1)</sup> 1,05	41,0
Suojakaista	9	4,97	0,67	13,5	1,83	1,03	56,2	2,59	1,86	71,6	2,81	1,38	49,2
Normaali kyntö	6	6,83	0,79	11,6	5,07	2,81	55,4	4,19	2,40	57,3	5,25	1,88	35,8
Poikittainen kyntö	1	3,02	0,58	19,1	2,17	1,48	68,2	3,29	1,88	57,1	3,05	1,49	48,6
Poikittainen kyntö	5	5,12	1,34	26,1	1,61	1,04	64,7	3,15	1,59	50,4	3,26	1,48	45,4
Syysvehnä	3	6,02	3,61	59,9	1,87	1,19	63,6	3,85	2,38	61,8	3,92	2,40	61,2
Syysvehnä	10	7,57	4,92	64,9	3,50	1,65	47,1	4,18	2,85	68,3	4,91	3,08	62,7
Keskiarvo		6,80	4,27	62,4	2,69	1,42	55,4	4,01	2,62	65,1	4,42	2,74	62,0
<b>Koejakso 92-93</b>													
Sänki	8	3,10	0,38	12,2	3,78	1,15	30,4	3,52	1,11	31,5	3,38	0,79	23,3
Sänki	4	3,70	0,26	7,1	2,67	0,65	24,3	3,97	0,62	15,7	3,57	0,52	14,6
Sänkimuokkaus	7	7,36	3,30	44,9	8,40	3,64	43,3	6,99	3,81	54,6	7,58	3,55	46,8
Sänkimuokkaus	2	8,28	4,01	48,4	6,23	2,40	38,5	9,33	3,56	38,2	8,12	3,52	43,3
Suojakaista	9	3,78	0,11	3,0	2,23	0,15	6,6	2,55	0,56	22,1	2,66	0,31	11,6
Normaali kyntö	6	10,96	6,91	63,1	7,08	2,82	39,9	10,82	4,22	39,0	10,05	5,22	52,0
Poikittainen kyntö	1	11,08	7,58	68,4	4,40	2,58	58,6	6,63	3,92	59,2	8,17	5,28	64,5
Poikittainen kyntö	5	6,40	3,84	60,0	5,09	1,38	27,1	6,84	2,92	42,7	6,25	2,84	45,4
Syysvehnä	3	5,32	0,81	15,3	3,87	0,64	16,6	4,28	1,22	28,5	4,52	0,92	20,3
Syysvehnä	10	6,63	1,30	19,6	4,30	0,92	21,4	4,75	1,40	29,6	5,26	1,23	23,4
Keskiarvo		5,98	1,06	17,5	4,09	0,78	19,0	4,52	1,31	29,1	4,89	1,08	21,9
<b>Koejakso 93-94</b>													
Sänki	8	1,18	0,47	39,7	0,75	0,32	43,1	1,56	1,05	67,3	1,27	0,70	55,1
Sänki	4	1,58	0,85	27,4	1,17	0,33	28,5	2,01	1,34	66,4	1,57	0,61	39,1
Sänkimuokkaus	7	2,26	1,89	83,9	1,32	0,61	45,9	1,74	1,42	81,2	1,88	1,46	77,7
Sänkimuokkaus	2	2,33	2,12	90,8	1,53	0,69	44,8	1,77	1,40	79,0	1,90	1,45	76,4
Suojakaista	9	4,49	4,95	>95,0	1,59	1,24	77,5	1,61	1,10	68,6	2,49	2,30	92,8
Normaali kyntö	6	4,46	3,94	88,3	2,78	1,85	66,5	-	-	-	-	-	-
Poikittainen kyntö	1	2,21	1,13	51,0	1,20	0,60	50,0	2,66	1,74	65,3	2,45	1,51	61,7
Poikittainen kyntö	5	1,96	0,81	41,4	1,29	0,57	43,9	2,95	2,34	79,4	2,70	1,99	73,9
Syysvehnä	3	11,88	12,78	>95,0	2,55	1,49	58,6	5,54	4,39	79,2	7,06	6,71	95,0
Syysvehnä	10	14,96	17,70	>95,0	2,34	1,80	76,8	3,60	3,35	93,1	7,37	8,12	>95,0
Keskiarvo		-	15,24	>95,0	2,45	1,65	67,7	4,57	3,87	86,2	-	7,41	>95,0

## Liite II. Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen kokonaistyyppipitoisuus

Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen kokonaistyyppipitoisuus havaitun ja laskennallisen pitoisuuden suhdelukuna ( $P_{\text{tot3}}$  ja  $P_{\text{tot10}}$ ) eri vuodenaikoina eri käsittelyissä (syysvehnä = 1,00 <sup>1)</sup>valuntaa viereiseltä ruudulta).

Jakso/ menetelmä	Ruutu	Syksy 1.9.20.12		Talvi 21.12-28.2		Kevät 1.3-10.5		Koko jakso		
		N <sub>3</sub>	N <sub>10</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>10</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>10</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>10</sub>	
<b>Koejakso 90-91</b>										
Sänki	8	0,68	0,62	0,86	0,85	0,70	0,66	0,86	0,90	
Sänki	4	0,42	0,39	0,59	0,63	0,49	0,47	0,50	0,49	
Sänkimuokkaus	7	0,89	0,80	1,16	1,12	1,00	0,91	1,04	1,08	
Sänkimuokkaus	2	0,91	0,88	0,86	0,92	0,85	0,86	0,97	0,110	
Normaali kyntö	6	1,43	1,32	2,59	2,49	1,34	1,22	1,86	1,96	
Poikittainen kyntö	1	0,85	0,77	1,52	1,58	0,99	0,97	1,28	1,37	
Poikittainen kyntö	5	1,01	0,85	1,35	1,11	1,17	0,99	1,19	1,00	
<b>Koejakso 91-92</b>										
Sänki	8	0,85	0,70	0,71	0,39	0,88	0,84	0,87	0,72	
Sänki	4	0,57	0,53	0,45	0,28	0,68	0,68	0,62	0,56	
Sänkimuokkaus	7	0,73	0,60	1,29	0,69	0,96	0,89	0,95	0,77	
Sänkimuokkaus	2	0,56	0,50	0,52	0,31	0,67	0,68	0,60	0,54	
Suojakaista	9	0,79	0,69	0,93	0,55	0,64	0,65	0,69	0,60	
Normaali kyntö	6	1,41	1,20	3,47	1,92	1,41	1,34	1,67	1,43	
Poikittainen kyntö	1	0,45	0,39	1,07	0,63	0,80	0,78	0,70	0,61	
Poikittainen kyntö	5	0,95	0,80	0,96	0,49	1,24	1,14	1,14	0,96	
<b>Koejakso 92-93</b>										
Sänki	8	0,71	0,56	1,19	1,09	1,01	0,92	0,91	0,80	
Sänki	4	0,77	0,63	0,76	0,81	0,95	1,13	0,85	0,85	
Sänkimuokkaus	7	1,45	1,18	2,29	2,06	1,73	1,54	1,77	1,53	
Sänkimuokkaus	2	1,46	1,30	1,51	1,51	2,07	2,04	1,69	1,61	
Suojakaista	9	0,67	0,60	0,55	0,54	0,56	0,56	0,56	0,53	
Normaali kyntö	6	2,68	2,20	2,39	2,18	3,39	3,01	2,90	2,54	
Poikittainen kyntö	1	1,96	1,66	1,07	1,04	1,50	1,43	1,70	1,55	
Poikittainen kyntö	5	1,55	1,21	1,49	1,39	1,49	1,51	1,51	1,37	
<b>Koejakso 93-94</b>										
Sänki	8	0,12	0,10	0,36	0,40	0,35	0,54	0,22	0,21	
Sänki	4	0,16	0,17	0,50	0,63	0,41	0,48	0,23	0,26	
Sänkimuokkaus	7	0,20	0,16	0,55	0,59	0,34	0,51	0,28	0,27	
Sänkimuokkaus	2	0,18	0,16	0,57	0,68	0,31	0,51	0,25	0,27	
Suojakaista	9	0,36	0,31	0,59	0,71	0,27	0,47	0,34	0,35	
Normaali kyntö	6	0,47	0,40	1,45	1,57	-	-	-	-	
Poikittainen kyntö	1	0,17	0,15	0,45	0,52	0,49	0,77	0,33	0,34	
Poikittainen kyntö	5	0,17	0,15	0,56	0,59	0,61	0,62	0,47	0,46	

## Liite 12. Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen nitraatti-nitriittityppipitoisuus

Muokkauskerroksen valunnan suhteellinen nitraattinitriittityppipitoisuus havaitun ja laskennallisen pitoisuuden suhdeluksena ( $P_3$  ja  $P_{10}$ ) eri vuodenaikoina eri käsittelyissä (syysvehnä = 100 % valuntaa viereiseltä ruudulta).

Jakso/ menetelmä	Ruutu	Syksy 1.9.20.12		Talvi 21.12-28.2		Kevät 1.3-10.5		Koko jakso	
		$N_3$	$N_{10}$	$N_3$	$N_{10}$	$N_3$	$N_{10}$	$N_3$	$N_{10}$
<b>Koejakso 90-91</b>									
Sänki	8	0,22	0,17	0,56	0,58	0,46	0,48	0,52	0,59
Sänki	4	0,17	0,10	0,42	0,36	0,36	0,30	0,36	0,29
Sänkimuokkaus	7	0,42	0,33	0,59	0,62	0,64	0,67	0,59	0,67
Sänkimuokkaus	2	0,41	0,33	0,38	0,42	<sup>1)</sup> 0,49	<sup>1)</sup> 0,54	<sup>1)</sup> 0,53	<sup>1)</sup> 0,63
Normaali kyntö	6	0,83	0,65	2,05	2,06	1,40	1,41	1,52	1,69
Poikittainen kyntö	1	0,67	0,47	1,39	1,47	0,66	0,68	0,95	1,01
Poikittainen kyntö	5	0,95	0,66	1,80	1,31	1,16	1,16	1,23	1,16
<b>Koejakso 91-92</b>									
Sänki	8	0,11	0,08	0,41	0,29	0,70	0,59	0,44	0,35
Sänki	4	0,15	0,12	0,33	0,21	0,48	0,36	0,38	0,29
Sänkimuokkaus	7	0,09	0,07	0,48	0,34	0,65	0,55	0,46	0,37
Sänkimuokkaus	2	0,07	0,06	<sup>1)</sup> 0,29	<sup>1)</sup> 0,22	<sup>1)</sup> 0,37	<sup>1)</sup> 0,34	<sup>1)</sup> 0,27	<sup>1)</sup> 0,22
Suojakaista	9	0,16	0,12	0,74	0,55	0,67	0,58	0,50	0,40
Normaali kyntö	6	0,23	0,18	2,77	1,91	1,13	0,95	0,86	0,69
Poikittainen kyntö	1	0,12	0,09	0,98	0,71	0,59	0,50	0,45	0,37
Poikittainen kyntö	5	0,71	0,76	0,98	0,69	1,12	0,95	1,03	0,89
<b>Koejakso 92-93</b>									
Sänki	8	0,45	0,28	1,72	1,20	0,89	0,76	0,84	0,62
Sänki	4	0,35	0,19	1,22	0,79	0,48	0,39	0,55	0,39
Sänkimuokkaus	7	3,10	1,91	4,25	2,99	2,39	2,04	2,94	2,17
Sänkimuokkaus	2	3,09	2,04	2,29	1,72	1,83	1,67	2,40	1,89
Suojakaista	9	0,12	0,08	0,20	0,14	0,39	0,35	0,29	0,22
Normaali kyntö	6	10,08	5,96	4,98	3,45	4,13	3,36	6,72	4,76
Poikittainen kyntö	1	7,42	4,64	3,05	2,16	2,58	2,22	4,56	3,38
Poikittainen kyntö	5	4,88	2,99	2,68	1,95	2,10	1,91	2,93	2,29
<b>Koejakso 93-94</b>									
Sänki	8	0,03	0,03	0,21	0,17	0,24	0,30	0,10	0,08
Sänki	4	0,03	0,03	0,24	0,18	0,34	0,25	0,08	0,06
Sänkimuokkaus	7	0,11	0,09	0,31	0,25	0,25	0,41	0,16	0,14
Sänkimuokkaus	2	0,10	0,08	0,29	0,25	0,20	0,52	0,14	0,12
Suojakaista	9	0,34	0,26	0,71	0,61	0,21	0,29	0,30	0,26
Normaali kyntö	6	0,33	0,25	1,43	1,15	-	-	-	-
Poikittainen kyntö	1	0,06	0,05	0,31	0,26	0,33	0,41	0,17	0,15
Poikittainen kyntö	5	0,06	0,05	0,43	0,35	0,62	0,52	0,39	0,32



Julkaisija	Suomen ympäristökeskus	Julkaisu-aika 01.03.1999
Tekijä(t)	Markku Puustinen	
Julkaisun nimi	Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen	
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut		
Tiivistelmä	<p>Maatalouden hajakuormitusta voidaan vähentää merkittävästi muuttamalla muokkaus- ja viljelykäytäntöjä ja sijoittamalla nämä toimenpiteet maataloilla kuormittavimmille viljelykuvioille. Eroosio ja partikkelifosforin kuormitus pienenevät oleellisesti ns. aurattomassa viljelyssä. Vaikutukset johtuvat muokkauskerroksen valunnan pitoisuuksien alenemisesta. Pitoisuuksien alentaminen onkin keskeisin vaikutusmekanismi pienentää peltoviljelystä tulevaa hajakuormitusta. Valuntasuhteita voidaan muuttaa käytännön viljelyssä siten, että pintavalunnan osuus pienenee. Myös tämä alentaa erityisesti eroosiota ja partikkelimaisten ravinteiden kuormitusta. Potentiaalisia kuormitusta vähentäviä viljelykäytäntöjä ovat sänki, sänkimuokkaus, kultivointi, rinteiden kaltevuuteen nähden poikittainen kyntö ja leveät suojakaistat. Valunnan kokonaismäärää ei sanottavasti voida viljelyteknisin keinoin pienentää.</p> <p>Hajakuormituksen pienentäminen on ongelmallista, koska eri kuormittavat tekijät saattavat muuttua eritavalla. Eroosiota on suhteellisen helppo pienentää. Tällöin partikkelifosforin kuormitus alenee selvästi ja useimmiten myös typpikuormitus. Ongelma muodostuu liukoisesta fosforista, jonka kuormitus kasvaa kevennetyissä muokkausikäytännöissä. Ilmiö korostuu, jos pelon P-luku on korkea. Tämä onkin ongelma sovellettaessa maataloilla laajalti auratonta viljelyä. Haittaa voidaan pienentää pitkällä aikavälillä alentamalla muokkauskerroksen fosforipitoisuutta. Tämä edellyttää fosforilannoitteiden käytön oleellista pienentämistä siksi aikaa, että muokkauskerroksen P-luku laskee tavoitetasoonsa.</p> <p>Tutkimus tehtiin Aurajoen varteen perustetulla koekentällä. Koekentän tarpeisiin kehitettiin uusi pintavalunnan keräinjärjestelmä. Keräimet kokoavat muokkauskerroksessa liikkuvan veden 0-30 cm syvyydestä. Kenttäkokeita tehtiin viiden vuoden ajan vuosina 1989-1994. Ensimmäisenä vuonna tehtiin kentän perusselvitys ja varsinaiset kenttäkokeet toteutettiin neljän koejakson aikana.</p>	
Asiasanat	Eroosio, hajakuormitus, fosforikuormitus, viljelymenetelmät, auraton viljely, kevennety (maan)muokkaus	
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 285	
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu	
Projektihankkeen nimi ja projektinumero		
Rahoittaja/ toimeksiantaja		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0430-9
	Sivuja 113	Kieli Suomi
	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta 87 mk
Julkaisun myynti/ jakaja	Oy Edita Ab asiakaspalvelu puh. (09) 566 0266 telefax (09) 566 0380	
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus	
Painopaikka ja -aika	Oy Edita Ab Helsinki 1999	

# Presentationssblad

Utgivare	Finlands miljöcentral	Datum 01.03.1999
Författare	Markku Puustinen	
Publikationens titel	Odlingsmetodernas effekt på markerosion och urlakning av näringsämnen	
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt		
Sammandrag	<p>Jordbrukets diffusa belastning kan minskas betydligt genom att uppluckrings- och odlingspraxis ändras och genom att koncentrera dessa åtgärder på gårdarnas mest belastande odlingslotter. Erosionen och belastningen av partikulärt fosfor minskas väsentligt i sk. plöjningsfri odling. Effekten beror på minskning av halterna i avrinningen från uppluckringsskiktet. En minskning av halterna är den viktigaste påverkningsmekanismen för minskning av den diffusa belastningen från åkerodling. Avrinningsförhållandena kan ändras genom odlingspraxis så att ytavrinningens del blir mindre. Också detta minskar särskilt erosionen och belastningen av partikulära näringsämnen. Potentiella odlingsmetoder som skulle minska belastningen är stubb, stubbearbetning, kultivering, plöjning tvärs mot slutningen och breda skyddszoner. Avrinningens totalmängd kan inte nämnvärt minskas med odlingstekniska metoder.</p> <p>Minskning av den diffusa belastningen är problematiskt, då olika belastande faktorer kan ändras på olika sätt. Erosionen är ganska lätt att minska. Samtidigt minskas belastningen av partikulärt fosfor betydligt och i de flesta fallen också kvävebelastningen. Problemet består av löst fosfor, som förorsakar ökande belastning vid mindre uppluckring. Fenomenet blir accentuerat, om åkern har en hög P-siffra. Detta medför ett problem då man i stor utsträckning tillämpar odling utan plog. Olägenheten kan minskas under en lång period med att minska fosforhalten i uppluckringsskiktet. Detta förutsätter en betydlig minskning i bruket av fosforgödsel under den tid som behövs för att uppluckningsskiktets P-siffra skall sjunka till målnivån.</p> <p>Undersökningen gjordes på ett experimentfält som grundades vid Aura å. För experimentfältets behov utvecklades ett nytt system för att samla upp ytavrinningen. Insamlingskärnen samlar vatten som rör sig på 0-30 centimeters djup. Fältexperiment gjordes under fem år, 1989-1994. Under första året gjordes fältets grundutredning och de egentliga fältexperimenten genomfördes under fyra experimentperioder.</p>	
Nyckelord	erosion, diffus belastning, fosforbelastning, plöjningsfri odling, uppluckring	
Publikationsserie och nummer	Miljö i Finland 285	
Publikationens tema	Miljövärd	
Projektets namn och nummer		
Finansiär/ uppdragsgivare		
Organisationer i projektgruppen		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0430-9
	Sidantal 113	Språk finska
	Offentlighet Offentlig	Pris 87 mk
Beställningar/ distribution	Oy Edita Ab kundservice tel. (09) 566 0266 telefax (09) 566 0380	
Förläggare	Finlands miljöcentral	
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Edita Ab Helsingfors 1999	

# Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute	Date	01.03.1999
Author(s)	Markku Puustinen		
Title of publication	Effect of soil tillage on surface erosion and nutrient transport		
Parts of publication/ other project publications			
Abstract	<p>The diffuse loading from agriculture can be significantly reduced by changing tillage practices and by locating these measures in those parts of fields that are the most susceptible for soil and nutrient losses. Erosion and particulate phosphorus transport decrease significantly when ploughless tillage is used. This is due to the decrease in concentrations in plough layer runoff. Indeed, decreasing concentrations is a central mechanism reducing the diffuse loading from field cultivation. In practical cultivation, the runoff distribution can be changed so that the proportion of surface runoff decreases. This decreases especially erosion and transport of particulate nutrients. Potential means in practice are stubble, stubble-tillage, harrowing, ploughing crosswise to the field-slope and wide buffer zones. The total amount of runoff can not be decreased to an appreciable extent by cultivation techniques.</p> <p>Reducing diffuse loading is problematic because different loading factors may change in different ways. Erosion is relatively easy to be decreased. In that case, the transport of particulate phosphorus and usually also that of nitrogen, is clearly decreased, as well. The problem arises from dissolved phosphorus, the transport of which increases with reduced tillage practices. This tendency is emphasized if the P-status of the field is high. It means a potential problem in connection with the ploughless tillage. In the long term, this harm may be diminished by decreasing the phosphorus content of cultivation layer. This requires an essential cut in the use of phosphorus fertilizers by the time that the P-status of cultivation layer has decreased till its target level.</p> <p>This study is based on the measurements made in an experimental field established close by the river Aurajoki. A new collector system for the measuring of surface runoff was developed. The water flowing in the depth of 0-30 cm, i.e. in the cultivation layer, is led to the collectors. The field experiments were performed during five years 1989-94, the first of which, however, included solely the collection of basic information about the experimental site.</p>		
Keywords	Erosion, non-point pollution, diffuse loading, phosphorus load, ploughless farming, reduced tillage		
Publication series and number	The Finnish Environment 285		
Theme of publication	Environmental protection		
Project name and number, if any			
Financier/ commissioner			
Project organization			
	ISSN	ISBN	
	1238-7312	952-11-0430-9	
	No. of pages	Language	
	113	Finnish	
	Restrictions	Price	
	Public	87 FIM	
For sale at/ distributor	Edita Ltd, customer service tel. +358 9 566 022 telefax +358 9 566 0380		
Financier of publication	Finnish Environment Institute		
Printing place and year	Edita Ltd. Helsinki 1999		

## Suomen ympäristö

169. Kuussaari, Mikko; Pöyry, Juha; Savolainen, Markku & Paukkunen, Juho: Suomen uhanalaisia lajeja: lehtohopeatäplä (*Clossiana titania*). Suomen ympäristökeskus.
170. Lindström, Marianne (ed.): Water Legislation in Selected Countries - a Comparative Study for South African Water Law Review. Suomen ympäristökeskus.
171. Mäkinen, Risto: Rakentamisen vastuut ja laatu. Selvitysmiehen raportti. Ympäristöministeriö.
172. Nurmi, Paula: Eräiden Suomen järvien pohjaeläimistö. Valtakunnallisen seurannan tulokset 1989 - 1992. Suomen ympäristökeskus.
173. Haverinen, Kalervo & Lempinen, Petri: Omin avuin, valtion varoin. Opiskelija-asuntojärjestelmä Suomessa. Ympäristöministeriö.
174. Vaitomaa, Jaana: Sinilevien ja niiden tuottamien maksatoksiinien käyttäytyminen imeytyksessä. Kokeita harju- ja sedimenttipatsailla. Suomen ympäristökeskus.
175. Porvari, Petri & Verta, Matti: Elohopea ja metyylielohopea tekoaltaissa ja Kemijoen vesistössä. Suomen ympäristökeskus.
176. Hyvärinen, Veli (toim.) Hydrologinen vuosikirja 1994. Hydrological Yearbook 1994. Suomen ympäristökeskus.
177. Suomen tekemät kansainväliset ympäristösopimukset. Ympäristöministeriö.
178. Helin, Juha: Turvetuotantovelvoitteita koskevat vesituomioistuinten lupapäätökset. Suomen ympäristökeskus.
179. Soveri, Jouko; Peltonen, Kimmo & Järvinen, Olli: Laskeuma Helsingin seudulla lumesta määritettynä talvikaudella 1995 - 1996. Suomen ympäristökeskus.
180. Vesala, Riitta: Näkökulmia asemakaavaselostuksen uudistamiseen. Ympäristöministeriö.
181. Kujala-Räty, Katariina; Hiisvirta, Leena; Kaukonen, Marke; Liponkoski, Markku & Sipilä, Annika: Talusveden laatu Suomessa vuonna 1996. Sosiaali- ja terveysministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.
182. Rusanen, Pekka; Mikkola-Roos, Markku & Asanti, Timo: Merimetso *Phalacrocorax carbo* - Musta viikinki. Merimetson kannan kehitys ja siihen vaikuttavat tekijät Itämeren piirissä ja Euroopassa. Suomen ympäristökeskus.
183. Haukkasalo, Hannu: Kuntarakenne - yleiskaava Nurmijärvi. Ympäristöministeriö.
184. Ostamo, Eira & Hilden, Mikael: YVA-yhteysviranomaisten lausuntojen laatu - ympäristövaikutusten arviointimenettelyt 1994 - 1997. Ympäristöministeriö.
185. Lehtonen, Elina & Kangasjärvi, Jaakko: Biotekniikan riskit? Siirtogeenisten kasvien ympäristöriskit Suomen oloissa. Suomen ympäristökeskus.
186. Heikkilä, Mikko, Karppinen, Seppo & Santasalo, Tuomas: Parempi kaupunkikeskusta - seitsemän kaupunkikeskustan kehittäminen. Ympäristöministeriö.
187. Lankinen, Markku: Lähiöt muuttuvat ja erilaistuvat - 36 lähiön tilastollinen seuranta 1980 - 95. Ympäristöministeriö.
188. Räike, Antti & Pietiläinen, Olli-Pekka: Typpikuormituksen vaikutus Lohjanjärven ja sen alapuolisen vesialueen tilaan. Suomen ympäristökeskus.
189. Pietiläinen, Olli-Pekka & Niinioja, Riitta: Typpi ja fosfori Pyhäselän rehevöitymisen säätelijöinä. Suomen ympäristökeskus.
190. Jauho, Mikko & Allt, Anu: Kokemuksia laitosten muuttamisesta asuinkäyttöön. Ympäristöministeriö.
191. Mustonen, Tuija: Mäntyharjun kulttuuriympäristöohjelma. Etelä-Savon ympäristökeskus.
192. Kylä-Setälä Annamajja: Maaperänsuojelun toteutuminen alueellisella tasolla - esimerkkinä Satakunta. Suomen ympäristökeskus.
193. Lonka Harriet: Öljy- ja kemikaalivahinkojen torjuntavalmiuden tilan selvitys ympäristövahinkojen torjunnan näkökulmasta. Suomen ympäristökeskus.
194. Niemi, M.; Kulmala, A.; Vanhala, P.; Kulokoski, V. & Esala, M.: Orgaanisten jäteaineiden vaikutukset maaperän mikrobistoon ja kasvien typensaantiin. Suomen ympäristökeskus.
195. Lehtinen; Tana; Mattsson; Engström; Nakari; Ahtiainen & Lagus: Happikemikaalien käyttöön perustuvan massanvalkaisun ympäristövaikutuksia. Suomen ympäristökeskus.
196. Liikanen, Anu: Torjunta-aineiden käyttäytyminen ilmakehässä - lähteet, kulkeutuminen ja poistumismekanismit. Suomen ympäristökeskus.
197. Ahonen, Ilpo, Jalkanen, Aija & Vähäsöyrinki, Asko: Työntekijöiden kemikaalialtistuminen saastuneiden maa-alueiden kunnostuksessa. Suomen ympäristökeskus.
198. Lukin, Markus: Kestävä tuote- ja kulutuspolitiikka - kansainväliset lähtökohdat, kansallinen sisältö ja kaupan näkökulma. Ympäristöministeriö.
199. Honkatukia, Juha: Ympäristöverot ja työllisyys. Katsaus tutkimustuloksiin ja toimenpiteisiin Pohjoismaissa ja Hollannissa. Ympäristöministeriö.
200. Tulonen, Annu: Asikkalan kulttuuriympäristöohjelma. Ympäristöministeriö.
201. Hilden, M.; Tahvonen, O & Valsta, L.: Natura 2000-verkoston vaikutusten arviointi. Suomen ympäristökeskus.
202. Vaajasaari, Kati; Dahlbo, Helena; Joutti, Anneli; Schultz, Eija; Ahtiainen, Jukka; Nakari, Tarja; Pönni, Seppo & Nevalainen, Jukka: Liukoisuus- ja biotestit jätteiden kaatopaikkakelpoisuuden määrittämisessä. Loppuraportti. Pirkanmaan ympäristökeskus.
203. Helminen, H.; Häkkinen, K.; Keränen, M.; Koponen, J.; Laihanen, P. & Ylinen, H.: Turun edustan virtaus- ja vedenlaatumalli. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
204. Ollila, Markku (toim.): Vesistöjen käyttöön liittyvä taloudellinen varallisuus. Suomen ympäristökeskus.
205. Otterström, Tomas, Gynther, Lea & Laurikka, Harri: Ympäristökustannusten arviointimenettelyt. Ympäristöministeriö.

206. Grönroos, Juha; Nikander, Antero; Syri, Sanna; Rekolainen, Seppo & Ekqvist, Marko: Maatalouden ammoniakkipäästöt. Suomen ympäristökeskus.
207. Liike- ja palvelurakennusten kuntoarvio. Ympäristöministeriö.
208. Hirvonen, Jukka: Toimivatko tuloajat. Tilastollista perustietoa aravatulorajojen toimivuudesta. Ympäristöministeriö.
209. Huttula, Timo: Present state and future fate of Lake Võrtsjärv. Results from Finnish - Estonian joint project in 1993 - 1997. Pirkanmaan ympäristökeskus.
210. Ongelmia asunnottomuuden vähentämisessä. Toimenpide-ehdotuksia tilanteen parantamiseksi. Ympäristöministeriö.
211. Leppävuori, Keijo; Lehtinen, Ilkka; Aho, Timo & Lampinen, Veikko: Kiinteistöjen ylläpidon kustannusindeksi 1995 = 100. Ympäristöministeriö.
212. Siistonen, Pasi: Kaavin kulttuuriympäristöohjelma. Ympäristöministeriö.
213. Mattinen, Maire (toim.): Olavinlinna. Maisema ja monumentti. Ympäristöministeriö.
214. Saarela, Jouko; Kink, Hella; Karise, Vello; Kokkonen, Teemu; Hepojoki, Antti & Kotola, Jyrki (eds): Environmental impact of the former military base in the Pakri Peninsula, Estonia. Suomen ympäristökeskus.
215. Jätealan seurantajärjestelmä. Jäteseurantaprojektin loppuraportti. Suomen ympäristökeskus.
216. Juutinen, Artti & Mäenpää, Ilpo: Metallijätteiden kierrätyksen talous - ja ympäristövaikutukset. Ympäristöministeriö.
217. 7th Annual Report 1998. UN ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. Suomen ympäristökeskus.
218. Forsius, M.; Guardans, R.; Jenkins, A.; Lundin, L. & Nielsen, K.E. (eds): Integrated Monitoring: Environmental Assessment through Model and Empirical Analysis. Suomen ympäristökeskus.
219. Karjalainen, Anneli; Taipale, Lauri & Syri, Sanna: Happamoitumistoimikunnan mietintö. Ympäristöministeriö.
220. Saarinen, K.; Jouttijärvi T. & Forsius K.: Monitoring and control of emissions in pulp and paper industry in Finland. Suomen ympäristökeskus.
221. Teeriaho, Jari: Ehdotus luonnon monimuotoisuuden indikaattoreiksi kunnille. Suomen ympäristökeskus.
222. Laukkanen, Tuula: Sosiaalisen vuokra-asumisen asukasvalinta. Ympäristöministeriö.
223. Vehmas, Jarmo; Petäjä, Jouko; Kaivo-oja, Jari; Malaska, Pentti & Luukkanen Jyrki: Ilmastopoliittikka ja Suomi. Kansainvälisiä näkökohtia sekä kansallisia sähköntuotannon ja -kulutuksen skenaarioita. Ympäristöministeriö.
224. Soluasuminen ja opiskelija-asuntojen peruserustaminen. Ympäristöministeriö.
225. Mannermaa, Mika: Megatrendejä ja skenaarioita valtakunnallisen alueiden käytön perustaksi. Ympäristöministeriö.
226. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Målen för skydd av vattnen fram till år 2005. Ympäristöministeriö.
227. Märkkanen, Tuula: Selvitys saastuneiden maamassojen alueellisesta käsittelystä eteläisessä Suomessa. Suomen ympäristökeskus.
228. Rantala, Pirjo-Riitta; Nevalainen, Jukka & Jokela, Petri: Metsäteollisuuslietteiden kuivatusmenetelmiä. Pirkanmaan ympäristökeskus.
229. Koverola, Hannu: Rakennetun ympäristön indikaattorit. Ympäristöministeriö.
230. Huolman, Ilpo: Pihlajaveden tila ja suojelun lähtökohdat. Life Pihlajavesi -projekti. Etelä-Savon ympäristökeskus.
231. Sommarlund, H.; Pekkarinen, M.; Kansanen, P.; Vahtera, H. & Väisänen, T.: Savipeittomenetelmän soveltuvuus Tuusulanjärven sedimentin kunnostukseen. Uudenmaan ympäristökeskus.
232. Rakennusten energiatodistus. Loppuraportti. Ympäristöministeriö.
233. Häikiö, Martti; Laitinen, Jyrki; Lakso, Esko & Lehtinen, Antti: Laskeutusaltaiden käyttökelpoisuus viljelyalueiden vesiensuojelussa. Suomen ympäristökeskus.
234. Yakovlev, Valery, A.: Acidity of small lakes in Finnish Lapland - based on aquatic macroinvertebrate studies in 1993 - 1995. Lapin ympäristökeskus.
235. Larjavaava, Ilmari: Asuntojen hallinnon muutos Venäjällä. Ympäristöministeriö.
236. Lintunen, Petri; Hytönen, Mervi; Ikonen, Kirsi; Kivimäki, Sari: Laatokan pohjoisrannikon kulttuuriympäristö. Suomalainen kulttuuriperintö Laatokan luoteis- ja pohjoisrannan maiseissa. "Teksti myös venäjäksi". Suomen ympäristökeskus.
237. Tiuri, Ulpu & Huovila, Pekka & Miljö 2000. Teknologiakilpailu ja koerakentaminen. Tulokset ja johtopäätökset. Ympäristöministeriö.
238. Antila, Raimo: Kunnostuksen yleisuunnitelmat ja kunnostusratkaisut Hattulan käytöstä poistetuille kaatopaikoille. Hämeen ympäristökeskus.
239. Grönroos, Juha; Rekolainen, Seppo; Palva, Reetta; Granlund, Kirsti; Bärlund, Ilona; Nikander, Antero & Laine, Yki: Maatalouden ympäristötuki. Toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset 1995-1997. Suomen ympäristökeskus.
240. YVA-lainsäädännön tarkistamistyöryhmän mietintö. Ympäristöministeriö.
241. Survo, Kyösti & Hänninen, Otto: Altistuminen ympäristömelulle Suomessa. Esiselvitys. Pohjois-Savon ympäristökeskus.
242. Hassi, Laura: Korkotuki ylivelkaantuneiden asumisen tukena. Ympäristöministeriö.
243. Vartiainen, Perttu: Itämeren alueen kaupunkiverkoston kuvausjärjestelmä. Ympäristöministeriö.
244. Lehto, Mervi: Tekniikkaa ikä kaikki. Käyttäjän käsitys asumisen automaatiosta. Ympäristöministeriö.
245. Nevalainen, Jukka; Dahlbo, Helena: Suolakyllästäjäalueen maaperän saastuneisuuden selvittäminen ja kunnostaminen. Pirkanmaan ympäristökeskus.

246. Assessment of the competence and suitability of the Finnish Environment Institute Laboratory - as national environmental reference laboratory. Ympäristöministeriö.
247. Turkki, Hanna; Joensuu, Elina, Kirkkala, Teija; Lavinto, Ari; Mäkinen, Seppo & Siitonen, Mikko: Järviluonnon vaaliminen. Pomarkun / Siikaisten Valkjärven esimerkki. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
248. Maaperänsuojelun tavoitteet. Maaperänsuojelun tavoitetyöryhmän mietintö. Ympäristöministeriö.
249. Mujunen, Satu-Pia; Linderborg, Irma; Hirvikallio, Hilkka; Minkkinen, Pentti & Wirkkala, Riitta-Sisko: Adenosiinitrifosfaatin (ATP) soveltuvuus seurantaparametriksi sellu- ja paperitehtaiden biologisessa jäteveden puhdistuksessa. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus.
250. Perttula, Heli: Puurijärven tila ja lintuveden kunnostusperiaatteet. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
251. Rikkidioksidi- ja typenoksidipäästöjen vähentämismahdollisuudet. Ympäristöministeriö.
252. Koivusaari, Juhani; Koskenniemi, Esa; Latvala, Jyrki; Lax, Hans-Göran; Rautio, Liisa Marja; Teppo, Anssi & Julkunen, Martin: Kyröjoen tila ja vesistöiden vaikutukset 1986 - 1995. Länsi-Suomen ympäristökeskus.
253. Pietiläinen, Olli-Pekka; Ristimella, Tero & Itkonen, Juhani: Typpi ja fosfori Kemijoen perifyton-tuotannon säätelijöinä. Ympäristöministeriö
254. Hallituksen kestävän kehityksen ohjelma. Valtioneuvoston periaatepäätös ekologisen kestävyuden edistämisestä. Ympäristöministeriö.
255. Koski, Kimmo; Ritakallio, Veli-Matti; Huhdanmäki, Aimo & Vuorenhela, Turo: Myymäläverkon muutosten sosiaaliset ja sosiaalitoimeen kohdistuvat vaikutukset. Ympäristöministeriö.
256. Vehanen, Teppo; Marttunen, Mika; Tervo, Hannu; Kylmä, Petri & Hyvärinen, Pekka: Oulujärven kalatalouden monitavoitteinen kehittäminen. Suomen ympäristökeskus.
257. Hoffrén, Jukka: Materiaalivirtailinpito luonnonvarojen kokonaiskulutuksen seurantavälineenä. Ympäristöministeriö.
258. Tänninen, Timo & Hirvonen, Jukka: Asumistuen leikkauksista tuen vaikuttavuuden arviointiin. Asumistuen leikkausten kohdentuminen, asumistilanteen muutokset ja leikkausten vaikutus toimeentulotukeen vuosina 1995 - 96. Ympäristöministeriö.
259. Heikkilä, Mika: Hyrynsalmen kulttuuriympäristöohjelma. Ympäristöministeriö.
260. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005. Ympäristöministeriö.
261. Regeringens program för en hållbar utveckling. Statsrådets principbeslut om främjande av ekologisk hållbarhet. Ympäristöministeriö.
262. Hissit ja poistumistiet vanhoissa kerrostaloissa. Ympäristöministeriö.
263. Heiskanen, Anna-Stiina; Lundsgaard, Claus; Reigstadt, Marit & Olli, Kalle (toim.): Sedimentation and recycling in aquatic ecosystems - the impact of pelagic processes and planktonic food web structure. Suomen ympäristökeskus.
264. Panu, Jorma: Maisemarakenteen ja taajamarakenteen yhteensovittaminen. Ympäristöministeriö.
265. Jormola, Jukka; Järvelä, Juha; Lehtinen, Antti & Pajula, Heikki: Luonnonmukainen vesirakentaminen. Suomen ympäristökeskus.
266. Finnish Government Programme for Sustainable Development. Council of State Decision-in-Principle on the Promotion of Ecological Sustainability. Ympäristöministeriö.
267. Aro, Teuvo; Jyrkkäranta, Jyrki & Hääl, Kaido: Virolaiskerrostalojen lämmön ja veden kulutus. Ympäristöministeriö.
268. Suutari, Riku; Johansson, Matti & Tarvainen, Timo: Aineistojen alueellistaminen krigingmenetelmällä ympäristömallintamisessa. Suomen ympäristökeskus.
269. Futures for FEL. International Evaluation of the Finnish Environment Institute. Ympäristöministeriö.
270. Kaipiaisen, Maarit: Tiivis ja matala puurakentaminen. Ympäristöministeriö.
271. Rintanen, Tapio & Kare, Päivi: Suomen uhanalaisia lajeja: Sorsanputki (*Sium latifolium*). Suomen ympäristökeskus.
272. Wesamaa, Pekka: Kaavojen laatimisajat 1995 - 1996. Ympäristöministeriö.
273. Leikola, Niko: Metsäluonnon monimuotoisuus ja metsien käytön historia Etelä-Pohjanmaalla. Suomen ympäristökeskus.
274. Manninen, Pertti: Havasten limoittumistutkimus Konnivesi-Ruotsalaisella talvella 1997. Etelä-Savon ympäristökeskus.
275. Sigurdsson, Albert: Landscape ecological changes in the Kuhmo border area after 1940. A cumulative effects assessment approach. Suomen ympäristökeskus.
276. Asukasvalintatyöryhmän muistio. Ympäristöministeriö.
277. Edunvalvonta rakennusalan eurooppalaisessa standardisoinnissa. Ympäristöministeriö.
278. Wirkkala, Raimo & Toivonen, Heikki: Maintaining biological diversity in Finnish forests. Suomen ympäristökeskus.
279. Itämeren alueen kestävän kehityksen ohjelma. BALTIC 21. Ympäristöministeriö.
280. Hyvärinen, Veli (toim.): Hydrologinen vuosikirja 1995. Suomen ympäristökeskus.
281. Marjanen, Jari: Myrky- ja kemikaalilainsäädännön kehitysvaiheita. Suomen ympäristökeskus.
282. Lokio, Jarmo: Kittilän kulttuuriympäristöohjelma. Ympäristöministeriö.
283. Karhu, Elina: NiCd-pienakkujen käytön ja jätehuollon ohjaus. Suomen ympäristökeskus.
284. Leijting, Jorrit: Fuel peat utilization in Finland: resource use and emissions. Suomen ympäristökeskus.





**YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU**

## Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen

Suomessa otettiin käyttöön laaja ympäristötukijärjestelmä Euroopan Unioniin liittymisen yhteydessä. Järjestelmä sisältää suuren joukon hajakuormitusta vähentäviä vaihtoehtoja. Nykyinen järjestelmä on voimassa vuoden 1999 loppuun. Maatalouden aiheuttama hajakuormitus on edelleen hyvin ajankohtainen asia. Uutta ympäristötukijärjestelmää laaditaan parhaillaan ja toisaalta kuormituksen merkittävä vähentäminen on pitkä ja vaativa työsaika.

Tässä julkaisussa esitetään Aurajoen koekentän koejärjestelyt ja kentällä tehtyjen muokkaus- ja viljelymenetelmien vertailujen tulokset.

Tavoitteena oli tutkia viljelymenetelmien vaikutuksia eroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Koekenttä perustettiin vartavasten kaltevalle pellolle. Koekentälle suunniteltiin erityinen pintavalunnan keräinjärjestelmä.

Tutkimuksen perusteella voitiin todeta, että pelloilla tehtävillä toimenpiteillä voidaan suuressa määrin vaikuttaa kuormituksen määrään. Erityisesti kevennetyillä muokkausmenetelmillä voidaan vähentää eroosiota, mikä osaltaan pienentää ravinnekuormitusta. Keskeisin kuormitusta alentava mahdollisuus on pienentää valuntojen kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksia.

ISBN 952-11-0430-9

ISSN 1238-7312

Oy EDITA Ab  
PL 800, 00043 EDITA, vaihde (09) 566 01  
ASIAKASPALVELU  
puh. (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380  
EDITA-KIRJAKAUPAT HELSINGISSÄ  
Annankatu 44, puh. (09) 566 0566  
Eteläesplanadi 4, puh. (09) 662 801



9 789521 104305