

# PELTOVILJELYKSESTÄ AIHEUTUVAN VESISTÖKUORMITUKSEN VÄHENTÄMINEN

Markku Puustinen  
Vesi- ja ympäristöhallitus

## Yleistä

Peltoviljelyksestä aiheutuvan vesistökuormituksen voimakkaan lisääntymisen on todettu olevan yhteydessä maataloustuotannon rakennemuutokseen. Siirryttäessä laajaperäisestä viljelystä intensiiviseen viljelyyn, oleellimmat muutokset kasvinviljelytilojen viljelykäytännössä liittyivät tuotantopanosten käyttöön ja tuotantosuunnan erikoistumiseen. Runsas keinolannoitteiden käyttö, yksipuolinen viljanviljely ja tehokas maan muokkaus luonnehtivat tämän päivän kasvintuotantotiloja.

Koska peltoviljelystä aiheutuu valtaosa vesistöjen typpi- ja fosforikuormituksesta (Rekolainen ja Kauppi 1990), pitäisi käytännön ratkaisujen olla jo käytettävissä asian korjaamiseksi. Toisaalta ei ole vaikea etukäteen arvata vesistökuormituksen potentiaalisia vähentämiskeinoja maataloudessa. Ne tekijät, jotka ovat lisänneet peltoviljelyssä ravinnekuormitusta, toiminevat myös välineenä ravinnekuormituksen vähentämisessä. Yhtenä MAVEROn tavoitteena oli selvittää viljelytekniikan ja muokkaustapojen vaikutusta vesistökuormitukseen.

Peltoviljelyksestä tuleva ravinnekuormitus voidaan karkeasti jakaa kahteen osaan purkautumistapansa perusteella eli pintavalunnan ja salaojavalunnan mukana tulevaan kuormitukseen. Tasaisilla mailla pääosa ravinnekuormituksesta tulee liukoisessa muodossa salaoja- ja pohjavesivalunnan mukana. Mitä kaltevammista maista on kysymys, sitä suurempi osa kuormituksesta tulee toisaalta muuttuneiden valuntasuhteiden ja toisaalta kasvaneen eroosion seurauksena pintavalunnan mukana (esim. Tiainen ja Puustinen 1989). Pintavalunnan määrästä ja intensiteetistä riippuen liukoisten ravinteiden lisäksi tällöin huuhtoutuu myös humukseen ja maa-ainekseen sitoutuneita ravinteita runsaasti. Rinnepelloilta ravinteiden kokonaishuuhtoutuma lienee aina suurempi kuin vastaavan tyyppisiltä tasaisilta pelloilta.

Aurajoen varteen v. 1987–1988 perustetulla koekentällä selvitetään eri viljelykäytäntöjen vaikutusta eroosioon ja ravinnekuormitukseen. Koekentän pintakaltevuus on alueen yläosassa 7 % ja alaosassa 8 %. Kentältä kootaan pinta- ja pintakerrosvalunta 30 cm syvyyteen saakka. Valunnasta rekisteröidään kokonaismäärä ja analysoidaan keskeisimpien ravinteiden ja kiintoaineen pitoisuudet. Ravinneanalyysit tehdään kokoomanäytteistä. Kenttäkoekiden seurantajaksoksi muodostui käytännössä kausi syksystä kevääseen. Kesällä ei runsaista sateistakaan huolimatta esiintynyt lainkaan pintavaluntaa. Vuosina 1988–1990 koekentän kaikilla ruuduilla viljeltiin syysvehnää. Tämän tarkoituksena oli selvittää koeruutujen mahdollisia hydrologisia eroja ja kuormituseroja. Kausi 1990–1991 oli ensimmäinen varsinainen koejakso. Tässä yhteenvedossa esitetyt johtopäätökset perustuvat perusjakson 1989–1990 ja koejakson 1990–1991 havaintoihin. Kuormitusluvut ja menetelmien välinen kuormitusero koskee ainoastaan pintavalunnan ja pintakerrosvalunnan ainevirtaamaa.

## Viljelymenetelmät ja niiden vertailu

Koejäsenet kenttäkokeisiin valittiin suoraan tavallisesta viljelykäytännöstä. Valintakriteerinä käytettiin arviota eri viljelymenetelmien vaikutuksesta eroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Koejäseniksi valittiin ne menetelmät, joiden oletettiin poikkeavan mahdollisimman paljon toisistaan. Nurmea ei kuitenkaan käytännön syistä kenttäkokeiden alkuvaiheeseen voitu saada. Koejäsenet ovat seuraavat:

- Syysvehnä
- Sänki (keväällä äestys, kevätvehnä)
- Sänkimuokkaus (keväällä äestys, kevätvehnä)
- Rinteen suuntainen kyntö (keväällä äestys, kevätvehnä)
- Poikittainen kyntö (keväällä äestys, kevätvehnä)

Sänkiruudut olivat sadonkorjuun jälkeen täysin käsittelemättömiä kevääseen saakka. Puintijätteet jätettiin silputtuina maahan. Sänkimuokkauksessa ruudut äestettiin sadonkorjuun jälkeen joustopiikkiäkeellä kahteen kertaan. Silputtu puintijäte muokkautui osittain n. 10 cm syvyyteen. Rinteen suuntainen kyntö oli hyvin lähellä normaalia käytäntöä. Koeruudun alapäähän ei kuitenkaan tehty poikittaista päiste- viilua, kuten useimmiten käytännössä tehdään. Poikittainen kyntö tehtiin mahdollisimman tarkasti korkeuskäyrän suuntaisesti. Keväällä em. koeruudut muokattiin kylvökuntoon äestämällä. Keväällä ei siis enää tehty kyntöjä. Syysvehnärüuduilla muokkaus, lannoitus ja kylvö toteutettiin vakiintuneen paikkakunnan käytännön mukaan. Kylvötyöt tehtiin syyskuun ensimmäisellä viikolla. Kaikilla koejäsenillä esikasvina oli kahtena edellisenä vuonna eli koekentän perusjaksolla syysvehnä ja sitä edeltävänä vuonna sänki.

Varsinaisella koejaksolla syysvehnä oli perusmenetelmä, johon muiden koejäsenien aiheuttamaa ravinnekuormitusta verrattiin. Kuormituserojen tarkastelussa lähtökohtana oli pintavalunnan ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien erot ja koejäsenten vaikutukset koeruutujen hydrologiaan.

## Koeruutujen vuosivaihtelu ja ominaiskuormitus

Varsinaisella koejaksolla mitattu keskimääräinen pintavalunta oli 88,4 mm suurempi kuin edeltävällä perusjaksolla (taulukko 1). Tästä huolimatta eroosio ja kokonaisfosforikuormitus pienenevät lähes puoleen. Fosfaattifosforikuormitus pieneni viidenneksellä. Kokonaistyyppikuormitus sen sijaan kasvoi lähes kaksinkertaiseksi ja nitraattikuormitus yli kaksinkertaiseksi. Typen osalta kuormituksen muutos seurasi varsin suoraviivaisesti valunnan muutosta. Tyypestä poiketen kiintoainekuormituksen ja kokonaisfosforikuormituksen vuosivaihtelun suuruuteen syysvehnäällä pintavalunnan pitoisuudet vaikuttivat merkittävästi enemmän kuin kokonaisvalunta. Kokonaiseroosio syysviljarüuduilla oli varsin korkea. Koska kiintoainepitoisuudet määritettiin haihdutusjäännöksenä, nämä sisältävät myös näytevesissä olleet mineraalit ja sellaisen hienoimman partikkelimaisen aineksen, joka on läpäissyt suodattamalla tehdyssä analyysissä suodattimen. Mineraalien määrät suhteessa kiintoainekseen ovat kuitenkin yleensä vähäisiä.

Taulukko 1. Eroosio ja ravinnekuormitus keskimäärin syysvehnällä perusjaksolla (1989–1990) ja koejaksolla (1990–1991).

	Perusjakso 1989–1990	Koejakso 1990–1991
Valunta mm	127,3	215,7
Eroosio kg/ha	1655	915
Kokonaisfosfori kg/ha	3,35	2,00
Fosfaatti (suodatettu) kg/ha	0,47	0,39
Kokonaistyyppi kg/ha	4,96	7,16
Nitraattityppi (+ NO <sub>2</sub> ) kg/ha	2,26	4,62

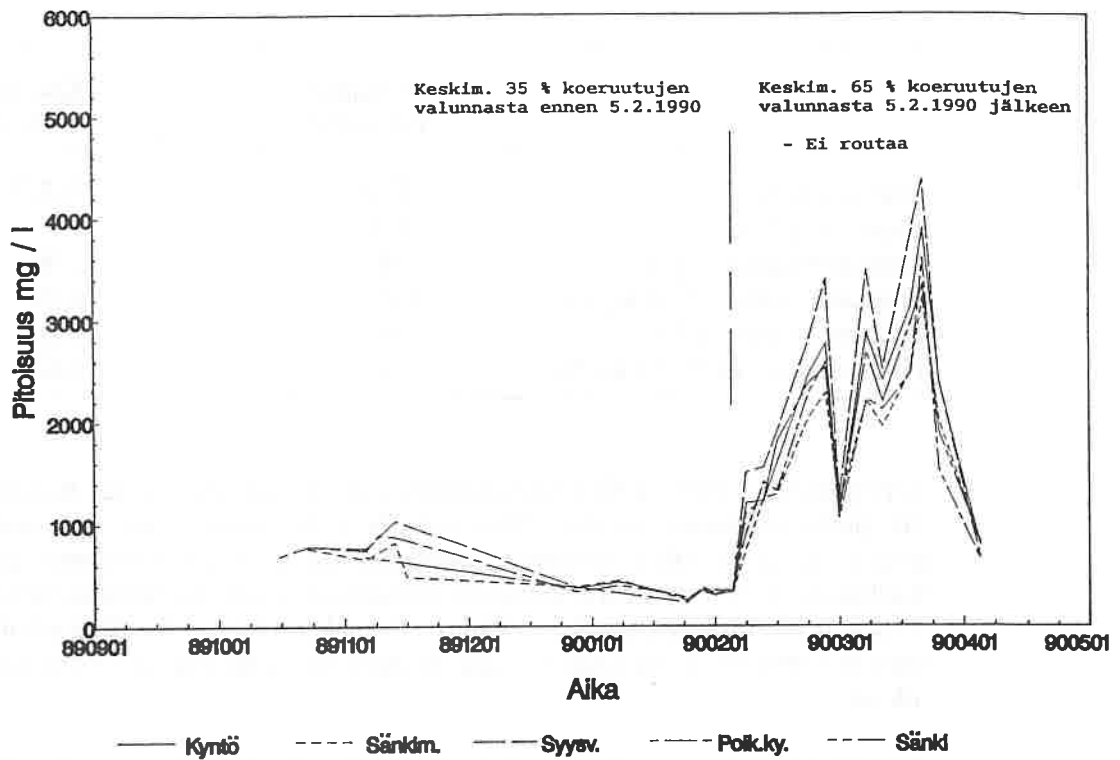
Perusjaksolla (1989–1990) koekentällä ei ollut lainkaan routaa. Kiintoainepitoisuudet pintavalunnassa vuoden 1990 talvella ja keväällä olivat epätavallisen korkeat pitkän aikaa ja siksi eroosio muodostui suureksi pienemmästä pintavalunnasta huolimatta. Kokonaisfosfori korreloi voimakkaasti kiintoainepitoisuuden kanssa, minkä vuoksi myös fosforikuormitus oli suuri. Koejakson talvi ja kevätkausi olivat luonteeltaan jo lähempänä normaalia talvea. Koeruuduilla oli routaa 15 cm kevätvaluntojen aikaan.

Yleensä jos maa routaantuu kenttäkapasiteetissa maan infiltraatio huononee, mikä lisää pintavaluntaa ja toisaalta lisää eroosiota. Kyllästyneessä tilassa jäätyneen maan infiltraatio on käytännöllisesti katsoen olematon ja jos maa on routaantumishetkellä kuiva ei infiltraatio oleellisesti poikkea sulan maan infiltraatiosta (Gray 1973, ref. Vakkilainen 1986). Toisaalta sula maa on alttiimpi eroosiolle kuin jäätynyt maa. Roudan sulaminen alkaa tavallisesti vasta lumien sulamisen jälkeen (Soveri 1986). Tämä selittäisi roudattoman maan pintavalunnan korkeat kiintoainepitoisuudet. Kiintoainepitoisuuksien kausivaihtelu on esitetty kuvioissa 1 ja 2 ja fosforipitoisuuksien kausivaihtelu kuvioissa 3 ja 4.

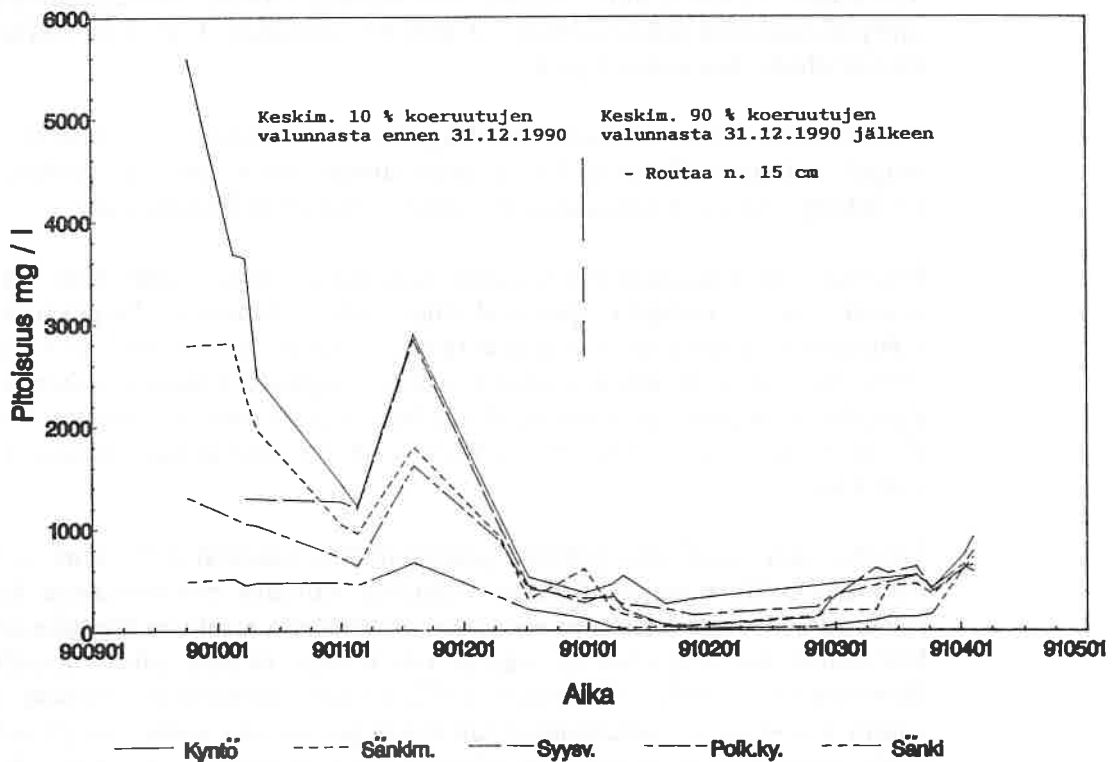
Pintavalunta ei ollut seurantajaksoilla jatkuvaa. Ainoastaan keväisin esiintyi yhtenäisempää valuntaa. Kuvissa 1–4 pintavalunnan kiintoaine- ja fosforipitoisuudet on yhdistetty viivalla pitoisuustason vaihtelun havainnollistamiseksi.

Kuvissa 1 ja 3 perusjakson keväällä, kun pintavalunnan kiintoaine- ja ravinnepitoisuudet olivat korkeita, pintavalunnat olivat runsaita. Peruskaudella mitatusta kokonaisvalunnasta 65 % valui kyseisenä aikana. Kuvioissa 2 ja 4 vuosien 1990 ja 1991 vaihteesta lähtien kevääseen saakka koejakson kokonaisvalunnasta tuli 90 %. Koejakson syksyllä pitoisuudet olivat hetkellisesti erittäin korkeita. Valunnan määrä oli kuitenkin niin pieni, että syksyn vaikutus kokonaiskuormitukseen jäi varsin vähäiseksi.

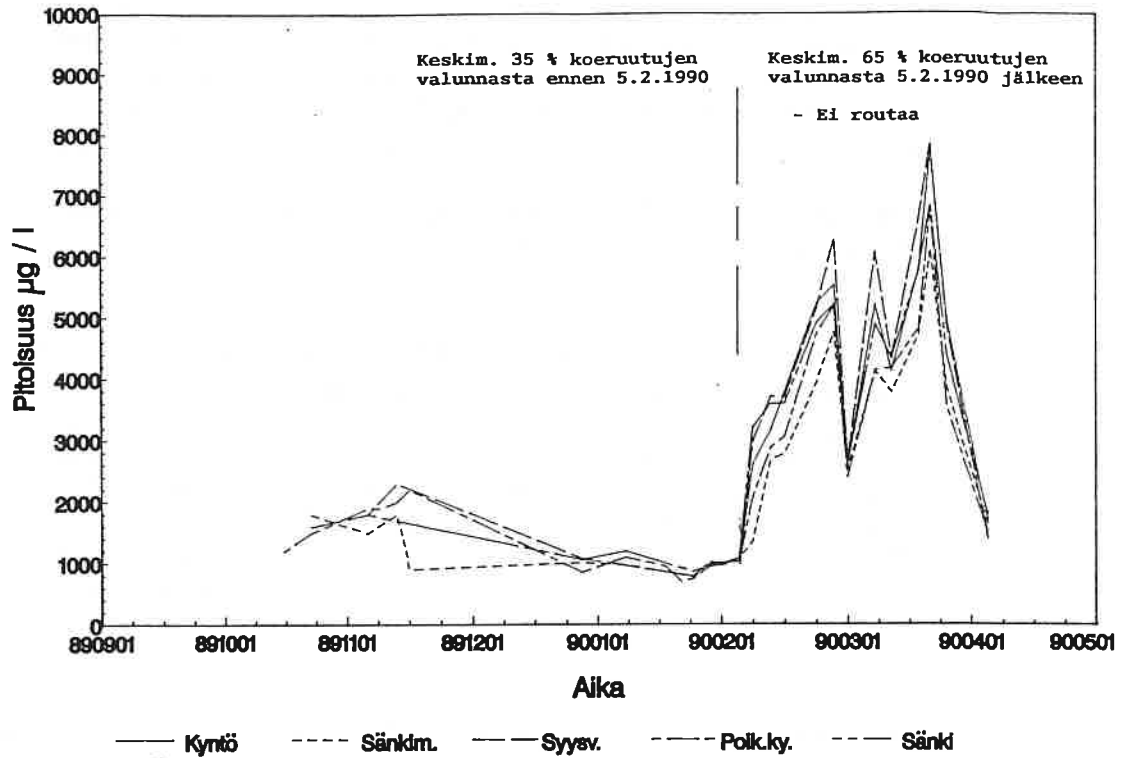
Talvikauden sääoloista johtuen peltoalueiden kokonaiskuormitus eri vuosina voi vaihdella erittäin paljon. Roudan vaihtelun vaikutus pintavalunnan kiintoainepitoisuuksiin lienee sitä suurempi mitä voimakkaammin maata on muokkaamalla käsitelty. Roudattomassa paljaassa maassa ei ole mitään estettä, joka vähentäisi eroosiota. Beasley'n ym. (1984) ja Zacharin (1982) eri kasvipeitteitä ja eroosion välistä riippuvuutta käsittelevien tutkimusten tuloksien perusteella voitaneen päätellä, että esim. tiheä nurmi suojaisi maanpintaa tehokkaasti juuri roudattomalla maalla.



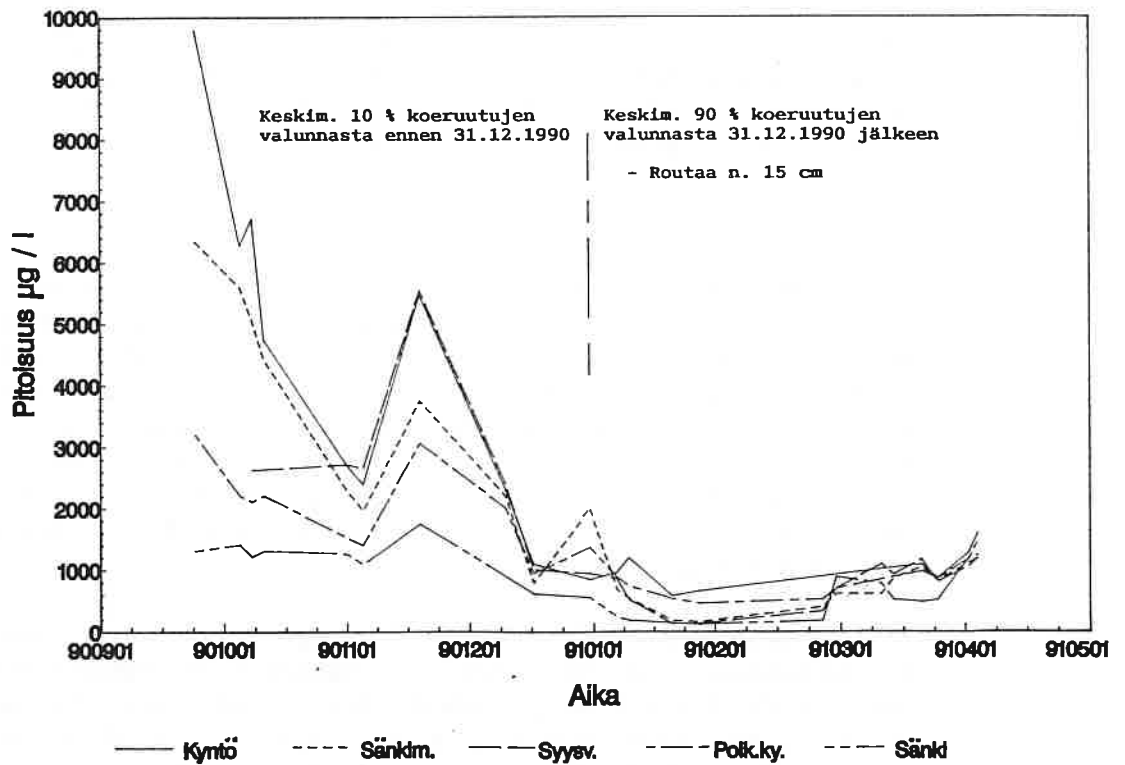
Kuva 1. Pintavalunnan kiintoainepitoisuuden vaihtelu koejäsenryhmittäin peruskaudella 1989–1990



Kuva 2. Pintavalunnan kiintoainepitoisuuden vaihtelu eri viljelymenetelmillä koevuonna 1990–1991.



Kuva 3. Pintavalunnan fosforipitoisuuden vaihtelu koerutyryhmittäin peruskaudella 1989–1990.



Kuva 4. Pintavalunnan fosforipitoisuuden vaihtelu eri viljelymenetelmillä koevuonna 1990–1991.

Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty kuvien 1–4 pitoisuuksiin perustuvat pintavaluntujen keskimääräisiä pitoisuuksia kuvaavat tunnusluvut. Ne on laskettu koeruutujen valuntapainotteisista keskiarvoista. Taulukossa 2 kuhunkin ryhmään sisältyy niiden koeruutujen tunnusluvut, joissa varsinaisena koevuonna toteutettiin mainitut viljelymenetelmät. Koevuonna syysvehnällä oli kolme kerrannetta, rinteeseen suuntaisesti kynnetyinä yksi koeruutu ja muilla menetelmillä kaksi kerrannetta.

Taulukko 2. Pintavalunnan keskimääräiset pitoisuudet syysvehnällä koejäsenryhmittäin perusjaksolla 1989–1990.

Koejäsenryhmät	N <sub>tot</sub> μg l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> (+NO <sub>2</sub> ) μg l <sup>-1</sup>	P <sub>tot</sub> μg l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> -P μg l <sup>-1</sup>	Ka mg/l	PO <sub>4</sub> -P %	NO <sub>3</sub> -N %	RK
"Syysvehnä"	3900	1775	2630	373	1300	14,3	45,2	1,5
"Sänki"	3890	1730	2535	428	1130	17,1	44,2	1,6
"Sänkimuokk."	4935	2795	2010	354	915	17,7	56,9	1,6
"Poik. kyntö"	4895	2185	2705	360	1260	14,2	44,3	1,6
"Norm. kyntö"	3725	1295	3120	449	1470	14,4	34,7	1,7

Taulukko 3. Pintavalunnan keskimääräiset pitoisuudet viljelymenetelmittäin koejaksolla 1990–1991.

Viljelymenetelmä	N <sub>tot</sub> μg l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> (+NO <sub>2</sub> ) μg l <sup>-1</sup>	P <sub>tot</sub> μg l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> -P μg l <sup>-1</sup>	Ka mg/l	PO <sub>4</sub> -P %	NO <sub>3</sub> -N %	RK
Syysvehnä	3320	2140	925	180	425	19,5	64,5	1,6
Sänki	2035	945	585	245	202	41,5	46,3	2,0
Sänkimuokkaus	3315	1770	1190	244	488	20,5	53,4	1,8
Poik. kyntö	4390	2770	1015	204	473	20,0	63,3	1,6
Norm. kyntö	4980	2790	1730	255	890	14,8	56,0	1,5

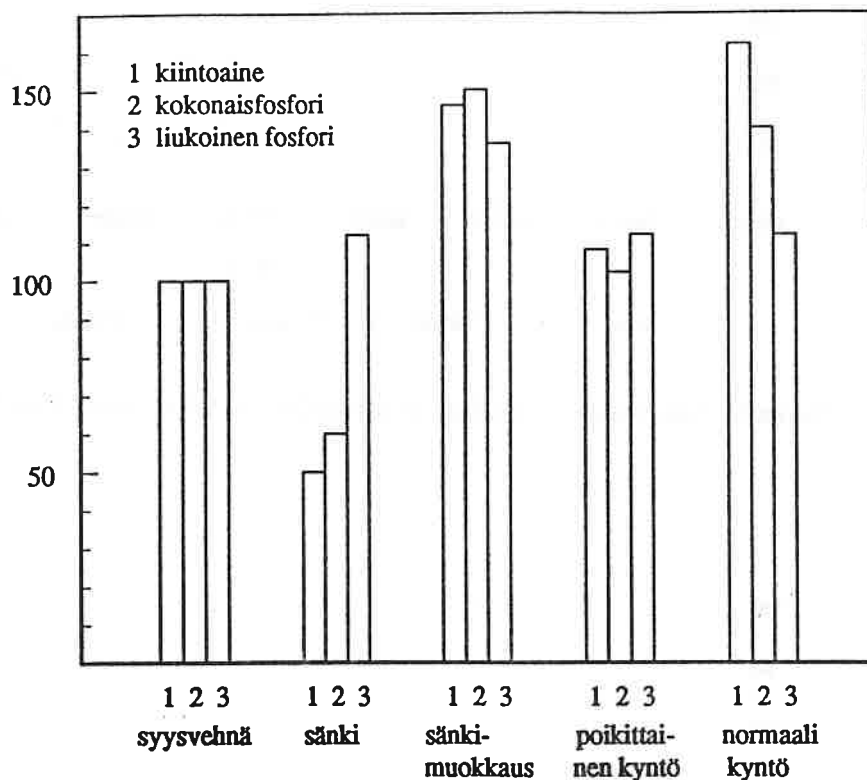
Koeruudut olivat perusjaksolla ominaisuuksiltaan erilaisia (taulukko 2). Kiintoaine-, kokonaisfosfori- ja nitraattipitoisuudet poikkesivat koeruutujen välillä eniten. Fosfaattifosforipitoisuuksien poikkeama oli pienin. Myös hydrologia poikkesi koeruutujen välillä huomattavasti. Nämä peruskauden tunnuslukujen poikkeamat vaikeuttivat tulosten käsittelyä ja tulkintaa. Olisi ollut huomattavasti helpompaa verrata suoraan ruutujen välisiä kokonaiskuormituksen eroja. Tämä olisi edellyttänyt, että peruskaudella kaikki koeruudut olisivat olleet hydrologialtaan ja kuormitukseltaan täysin samanlaisia. Kenttäolosuhteissa tämän kaltainen ihanteellinen tutkimustilanne jokseenkin harvoin toteutuu.

Koevuonna pintavesien kiintoaine- ja ravinnepitoisuudet olivat koko valuntakauden ajan eri koejäsenillä selvästi eri tasolla. Ristikkäisiä tasovaihteluita esiintyi ainoastaan satunnaisesti. Koeruutujen peruskauden poikkeaman aiheuttamaa tulkintavaikeutta lievensi se, että perusmenetelmän koeruudut eli kolme syysvehnärüütua ominaisuuksiltaan sijoittuivat kaikkien ruutujen ääripäihin ja keskelle.

## Viljelymenetelmät ja kuormitus

### Pitoisuudet

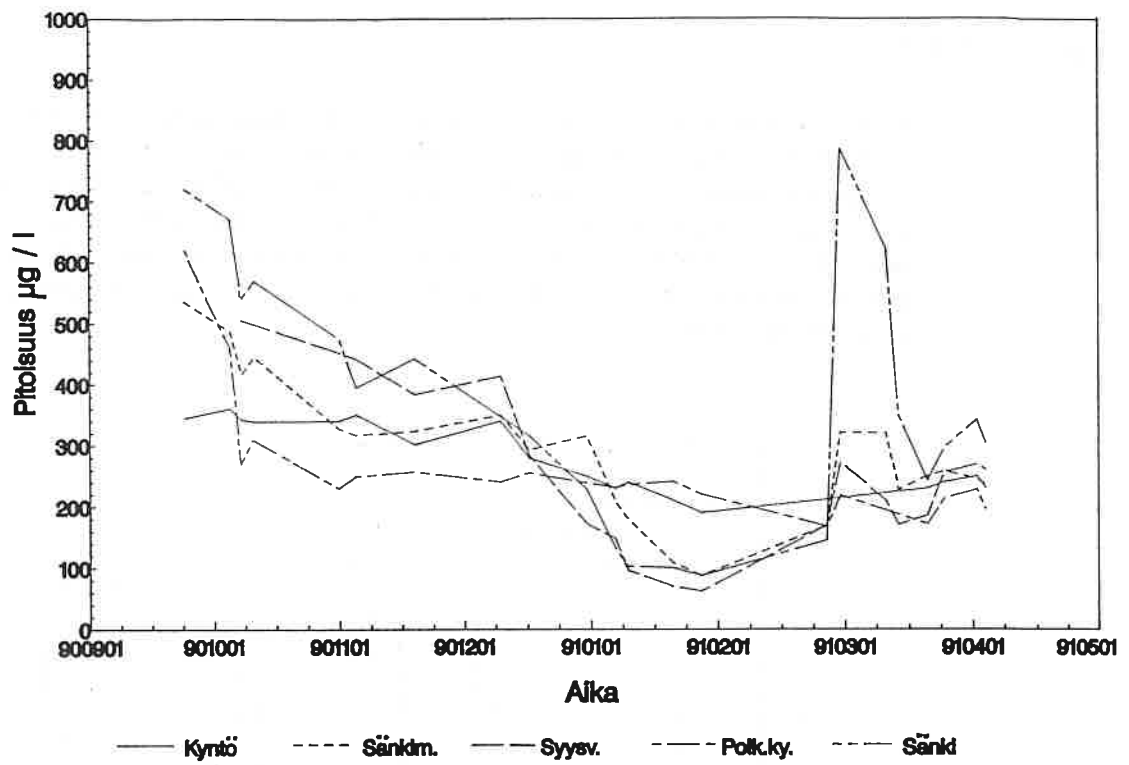
Viljelymenetelmien vaikutus pintavalunnan kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksiin näyttäisi selvältä taulukoiden 2 ja 3 sekä kuvioiden 1–4 perusteella. Selkeämmin asiaa voidaan tarkastella laskemalla kullekin viljelymenetelmälle suhteellinen pitoisuusarvo vertaamalla perusjakson ja koejakson pitoisuuksien muutosta suhteessa perusjäsenen eli syysvehnän pitoisuuksien muutokseen. Kuviossa 5 on verrattu koko koejakson kiintoaine- ja fosforipitoisuuksia. Syysvehnällä pitoisuuksien suhteellista arvoa on merkitty 100.



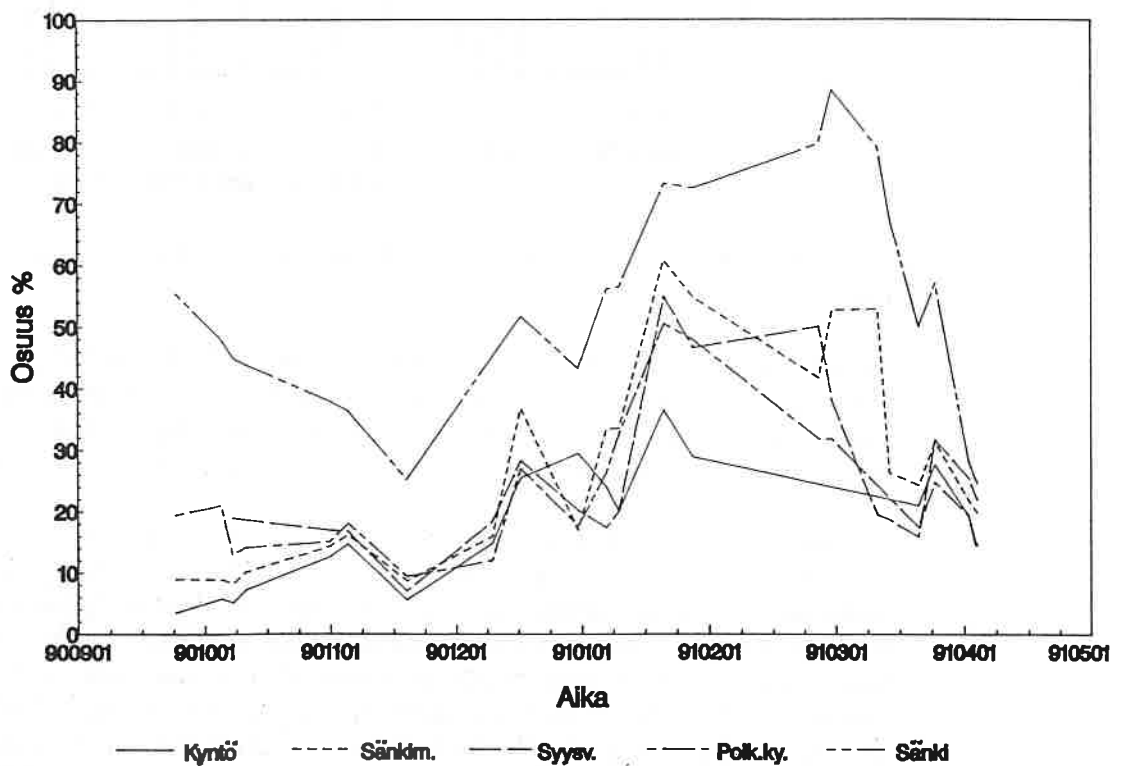
Kuva 5. Pintavalunnan suhteelliset kiintoaine- ja fosforipitoisuudet eri viljelymenetelmillä

Sänkiruuduilla kiintoainepitoisuus aleni puoleen ja kokonaisfosfori 40 % suhteessa syysvehnärüutuihin. Muilla koejäsenillä pitoisuudet olivat korkeampia, rinteeseen suuntaisesti kynnetyllä koeruudulla 65 % korkeampi. Sänkiruudun ja rinteeseen suuntaisesti kynnetyyn ruudun pitoisuuksissa ero oli yli kolminkertainen.

Fosfaattifosforin keskimääräinen pitoisuus oli syysvehnällä alhaisin. Ero muihin menetelmiin ei kuitenkaan ollut suuri (taulukko 3). Syksyllä syysvehnän ja sänkiruutujen pintavalunnassa oli korkeimmat fosfaattipitoisuudet (kuva 6). Runsaampien valuntojen alkaessa nämä putosivat alhaisimmiksi. Keväällä roudan sulamisen yhteydessä fosfaattipitoisuuksissa oli lyhytaikainen nousu. Sänkiruuduilla nousu oli erittäin suuri. Rinteeseen suuntaisesti kynnetyllä ruudulla fosfaattipitoisuuden nousua ei ollut. Syysvehnällä fosfaatin nousu oli myös selvä, sensijaan peruskaudella vastaavaa fosfaattihiukkista ei havaittu lainkaan. Tämä ilmeisimmin johtuu siitä, että sadonkorjuujätteen kasvisolukoista jäätymisen ja sulamisen jälkeen vapautuu liukoista fosforia (Johnson ym. 1979, Ulen 1984, 1985).



Kuva 6. Pintavalunnan fosfaattipitoisuudet eri viljelymenetelmillä.



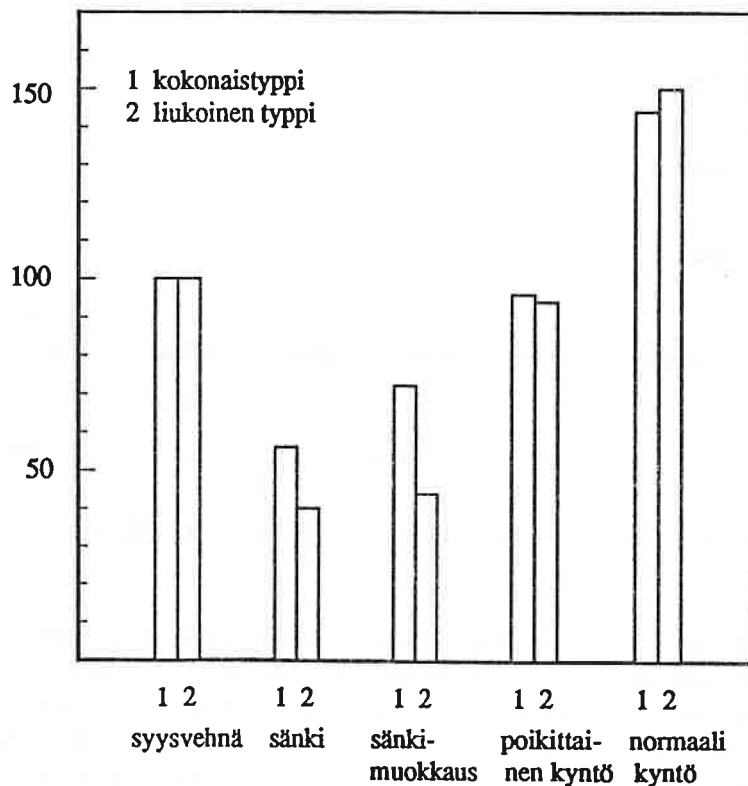
Kuva 7. Fosfaatin osuus pintavalunnan kokonaisfosforista eri viljelymenetelmillä.



Liukoisen fosforin osuus pintavalunnan kokonaisfosforista oli sänkiruuduilla erittäin korkea (kuva 7). Tämä johtui siitä, että sänkiruuduilla eroosio oli oleellisesti vähäisempi kuin muilla menetelmillä ja siten kokonaisfosforin huuhtoutuminen oli vähentynyt. Samanaikaisesti liukoisen fosforin huuhtoutuminen lievästi kasvoi suhteessa syysvehnään. Korkea fosfaatin osuus ei kuitenkaan tässä johdu fosfaattipitoisuuden noususta vaan kokonaisfosforipitoisuuden voimakkaasta alenemisesta.

Fosforin rikastumiskerroin (taulukko 3) sänkiruuduilla kasvoi. Sänkiruuduilla eroosio oli hyvin selektiivistä. Koeruuduilta erodoitui hienointa maa-ainesta, jonka fosforipitoisuus oli keskimääräistä korkeampi. Rinteen suuntaisesti kynnetyllä ruudulla rikastumiskerroin oli alhaisin. Erodoitunutta maa-ainesta oli määrällisesti enemmän ja raakoostumukseltaan se oli lähempänä muokkauskerroksen maata kuin muilla menetelmillä.

Typipitoisuudet olivat sänkiruuduilla ja sänkimuokatuilla ruuduilla alhaisemmat kuin syysvehnällä (kuva 8). Nitraattipitoisuudet molemmissa menetelmissä vähenivät alle puoleen. Poikittain kynnetyssä koeruudessa typipitoisuudet olivat lähes samat kuin syysvehnällä. Rinteen suuntaisesti kynnetyllä ruudulla typipitoisuudet olivat yli 50 % korkeammat kuin syysvehnällä.

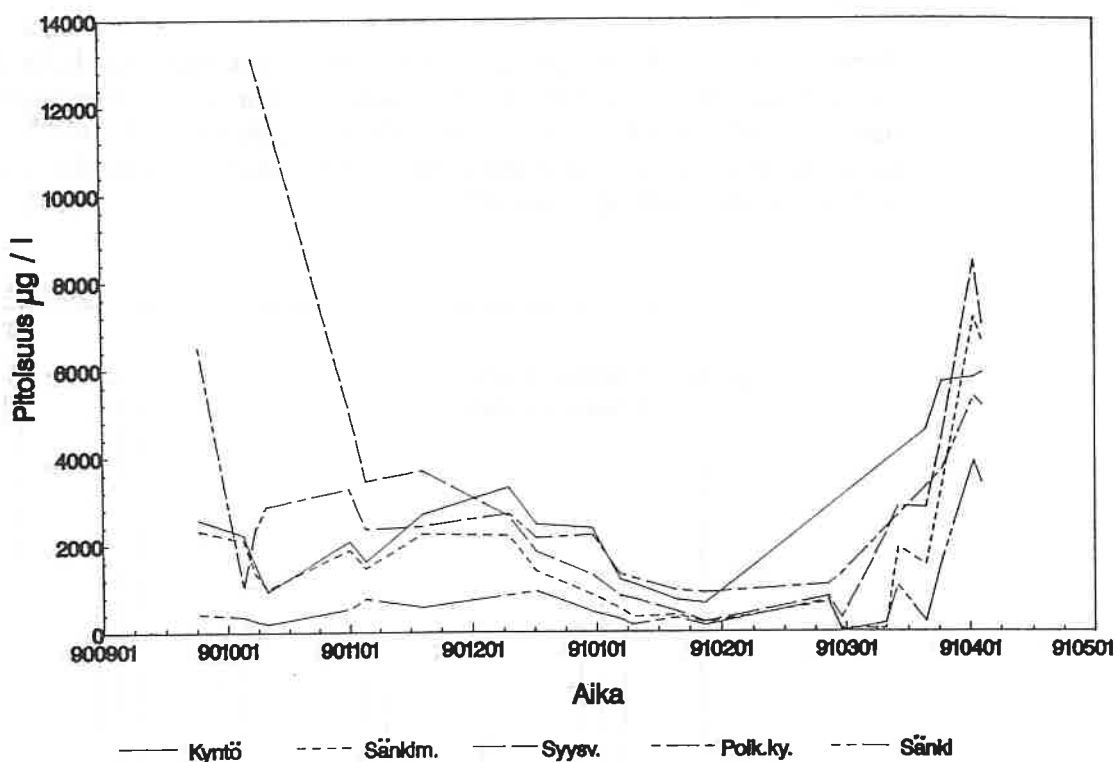


Kuva 8. Pintavalunnan suhteelliset typipitoisuudet eri viljelymenetelmillä.

Nitraattipitoisuudet olivat sänkiruutujen pintavalunnassa koko koejakson ajan alhaisimmat (kuva 9). Myös sänkimuokkausruuduilla nitraattipitoisuudet olivat alhaiset. Ero muihin menetelmiin ei kuitenkaan ollut yhtä selvä kuin sänkiruuduilla. Nitraattipitoisuuden aleneminen mainituilla käsittelymenetelmillä ilmeisesti johtuu siitä, että olkia hajottavat mikrobit myös itse tarvitsevat runsaasti typpeä. Sänkimuokkauksessa oljen nuhraantuminen muokkauskerroksen pintaosaan edistää hajoamista. Koska oljessa ei ole typpeä, mikrobit käyttävät maanesteessä olevaa typpeä. Ilmiötä sanotaan typen biologiseksi pidättymiseksi. Käytännön maataloudessa

ilmiö on ollut tunnettu. Oljen tai olkipitoisen kuivuneen karjalannan hajoamisen on tiedetty aiheuttavan typpilannoituksen tarpeen kasvua (Heinonen ym. 1963).

Tiiviimmästä, muokkaamattomasta sänkipellosta pintavalunta ei ilmeisesti pysty huuhtelevaan liukoista typpeä samaan tapaan kuin muokatuilla ruuduilla, mikä edelleen vähentää nitraatin huuhtoutumista. Kynnetyssä pellossa oljet jäävät kokonaan kyntöviilun alle tiiviiksi kerrokseksi, jossa olkien hajoamista ei tapahdu juuri lainkaan. Käytännössä on tuttua, että muokkauskerroksen alta löytyy monen vuoden pintijätteet lähes hajoamattomina. Muokkauskerroksessa oleva nitraattityppi mahdollisesti juuri tästä syystä pääsisi esteettä huuhtoutumaan kynnetyn ruudun pintavalunnassa.



Kuva 9. Pintavalunnan nitraattipitoisuudet eri viljelymenetelmillä.

Ravinne- ja kiintoainepitoisuudet koejäsenten eri kerranteissa koevuonna poikkesivat suhteellisen vähän toisistaan. Perusjaksolla vastaavien koeruutujen hajonnat olivat suuremmat. Yhden koevuoden aikana mitattujen ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien perusteella näyttäisi siltä, että viljelymenetelmien välillä olisi vesiensuojelun kannalta merkittäviä eroja. Tämän vaiheen tulokset joka tapauksessa ovat samansuuntaisia kuin kirjallisuudessa on esitetty (Tiainen ja Puustinen 1989). Jos valunta oletetaan samansuuruisiksi viljelymenetelmästä riippumatta, pitoisuuksien välinen ero kuvaisi jo suoraan kuormituseroja.

## Valunta ja kuormitus

Koekentältä on toistaiseksi mitattu ainoastaan pintavalunnan kokonaismäärä. Mitattu valunta käsittää varsinaisen pintavalunnan lisäksi myös pintakerrosvalunnan 30 cm

syvyyteen. Salaojavalunnan mittausta ei ole järjestetty. Myöskään pintavalunnan intensiteetin mittausta ei ole voitu järjestää.

Pintavaluntojen kokonaismäärä ruutujen välillä poikkesi huomattavasti toisistaan. Peruskaudella suurimman ja pienimmän valuman ero oli kolminkertainen. Valuntojen kasvaessa erot kuitenkin pienenevät niin peruskauden kevätjaksolla kuin varsinaisella koejaksolla. Pintavalunnan kasvu varsinaisella koejaksolla ja perusjakson kokonaisvalunnan välillä oli vahva käänteinen riippuvuus. Mitä pienempi valunta peruskaudella on sitä enemmän valunta kasvoi koevuonna. Riippuvuus ei muuttunut vaikka aineistoa tarkasteli ositeltuna erilaisiin osiin. Tämän perusteella saatiin kullekin koeruudulle laskennallinen valunnan muutos. Tämän ja mitatun valunnan muutoksen erotus oletettiin viljelymenetelmän aiheuttamaksi muutokseksi. Menetelmien suhteelliset valunnat olivat seuraavat:

- Syysvehnä	100
- Sänki	70
- Sänkimuokkaus	85 (103)
- poikittainen kyntö	60
- normaali kyntö	90

Suhteelliset valunta-arvot perustuvat tässä liian pieneen aineistoon, jotta niitä voitaisiin pitää kovinkaan luotettavina. Sänkiruuduille saatu valunnan pieneminen on mahdollisesti liian suuri. Toisaalta sänkiruuduilla oli kaikki puintijätteet silputtuina maanpinnalla, mikä voisi hidastaa pintavaluntaa havaitun määrän. Sänkimuokkauksessa toisen koeruudun kokonaisvalunta oli niin suuri, että se ei ollut enää realistinen ja se hylättiin. Suluissa on molempien sänkimuokkausruutujen keskiarvo. Valuntaerojen luotettavuus edellyttää vielä pitempiaikaista aineistoa. Tässä esitetyt valuntaerot osoittavat kuitenkin sitä potentiaalista eroa, mikä eri muokkaus- ja viljelymenetelmillä pintavaluntoihin on. Esim. Johnson ym. (1979) havaitsivat sänkimuokkausta muistuttavien muokkausmenetelmien vähentävän pintavaluntaa 35–41 % normaaliin kyntöön nähden. Vastaavasti runsas olkijäte vähensi pintavaluntaa paljaaseen maahan verrattuna yli puolella (Meyer ym. 1970, ref. Allmaras ym. 1985). Suhteellisten pintavaluntojen ja pitoisuuksien perusteella saadaan viljelymenetelmille lasketuksi suhteellinen kuormitus.

Taulukko 4. Viljelymenetelmien suhteellinen kuormitus.

Menetelmä	N <sub>tot</sub>	NO <sub>3</sub> (+NO <sub>2</sub> )	P <sub>tot</sub>	PO <sub>4</sub> -P	Erosio
Syysvehnä	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Sänki	0,37	0,25	0,40	0,76	0,34
Sänkimuokkaus	0,61	0,37	1,28	1,16	1,24
Poikittainen kyntö	0,57	0,56	0,61	0,67	0,65
Normaali kyntö	1,29	1,35	1,26	1,00	1,49

Erosio ja ravinteiden huuhtoutuminen pintavalunnassa sänkiruuduilla oli selvästi vähäisintä. Ravinteista sekä typpi- että fosforikuormitus oleellisesti pienenevät. Sänkimuokkauksessa eroosio ja fosforikuormitus kasvoivat, mutta typpikuormitus väheni selvästi syysviljaan nähden. Poikittaisen kynnön aiheuttama kuormituksen väheneminen perustui kokonaan valunnan suureen pienemiseen. Normaalisti

kynnetyn pellon eroosio ja ravinnekuormitus oli 30–50 % suurempi kuin syysvehnällä lukuunottamatta liukoisen fosforin kuormitusta, joka oli saman suuruinen.

Eroosion suuruus on voimakkaasti riippuvainen olosuhteista. Olosuhteet esim. pintavalunta ja kaltevuus ilmeisesti vaikuttavat myös siihen, miten tietty toimenpide vaikuttaa eroosion suhteelliseen muutokseen. Alustavien, edellä esitettyjen tulosten ja muualla tehtyjen tutkimusten välillä on tiettyä samansuuntaisuutta. Esim. Dickey ym. (1983) havaitsi, että kyntösuunnan muuttaminen 4 % kaltevuudessa rinteeseen nähden poikittaiseksi vähensi eroosiota 77 % rinteeseen suuntaiseen kyntöön nähden. Vastaavasti suorakylvömenetelmällä viljellyn pellon eroosio oli 5 % rinteessä 68 % pienempi kuin kynnetyissä pellossa (Dickey ym. 1985). Suorakylvö yleensä aiheuttaa pellon pintaan niin vähäisen muokkausvaikutuksen, että se saattaa eroosiovaikutuksiltaan olla hyvin lähellä sänkivaihtoehtoa. Toisaalta eräässä ruotsalaisessa tutkimuksessa (Ulen 1985) oli havaittu, että syysvehnäpelto aiheutti suuremman eroosion kuin normaalisti kynnetty pelto. Tämä tulos on selvästi poikkeava Aurajoen koekentän havaintoihin verrattuna. Toisaalta koekentältä ei ole havaintoja viljelymenetelmien eroista roudattomalta ajalta.

## Johtopäätökset ja suositukset

Tässä esitetyt lyhyen kenttätutkimuskauden aineistoon perustuvat, osin ennakoivat johtopäätökset edellyttävät lisää kenttätutkimuksia. Tässä yhteydessä ne on esitetty toisaalta siksi, että maatalouden käytännön vesiensuojelutoimenpiteillä on kiire ja toisaalta kirjallisuudesta löytyy samansuuntaisia tutkimustuloksia.

Maatalouden aiheuttaman vesistökuormituksen vähentämistä ajatellen viljeltyjen peltoalueiden eroosion määrä riippuu käytännöllisesti katsoen kussakin tapauksessa pelkästään pellon pinnan laadusta. Pellon kaltevuus, sadanta ja maan routaantuminen ovat tekijöitä, jotka kaikki vaikuttavat ratkaisevasti eroosion määrään. Näihin ei kuitenkaan voida vaikuttaa millään tavalla. Pintavalunta ja valunnan intensiteetti ovat eroosion aiheuttajista ja ylläpitäjistä sellaisia tekijöitä, joihin voidaan vaikuttaa rajoitetusti.

Eroosion vuosivaihtelussa pintavalunnan kiintoainepitoisuudet näyttäisivät vaikuttavan roudan vaihtelusta riippuen enemmän kokonaiseroosioon kuin pintavalunnan määrä. Siten leutoina talvina eroosio saattaa kasvaa rinnepelloilla (7–8 % kaltevuus) kaksinkertaiseksi normaaliin talveen verrattuna. Jos roudattomalla maalla pintavalunnan kokonaismäärässä ei tapahdu oleellista pienentymistä, eroosio saattaa olla jopa kolminkertainen normaalisti routaantuneen maan eroosioon nähden.

Fosforikuormituksen kokonaismäärä on voimakkaasti riippuvainen eroosiosta. Aluksi eroosion puolittuminen vähentää fosforikuormitusta lähes samassa suhteessa. Eroosion edelleen vähetessä fosforikuormituksen väheneminen ilmeisesti hidastuu. Eroosion ohella fosforikuormitukseen vaikuttaa pellon muokkauskerroksen fosforipitoisuus. Fosforin rikastumista erodoituneeseen maa-ainekseen kuvaavan rikastumiskertoimen arvo on riippuvainen erodoituneen maa-aineksen maalajitejakauman suhteesta muokkauskerroksen maalajitejakaumaan. Tätä suhdetta säätelee eroosionopeus. Jos rikastumiskerros pysyisi vakiona tietyissä eroosio-olosuhteissa, erodoituneen maa-aineksen fosforipitoisuus riippuisi muokkauskerroksen fosforipitoisuudesta.

Pintavalunnan fosfaattifosforipitoisuudet korreloivat kokonaisfosforipitoisuuksien kanssa. Pitoisuuksien vaihtelu oli kuitenkin suhteellisen vähäistä. Fosfaattifosforin huuhtoutuminen on ilmeisesti riippuvainen muokkauskerroksen kokonaisfosforipitoi-

suudesta ja fosforiluvusta. Pintavalunta toimii muokkauskerroksessa kuin uuttoneste. Mitä korkeampi maan fosforiluku on, sitä korkeampi on pintavalunnan fosfaattipitoisuus ja laimentumisen jälkeen vesi uuttaa edelleen muokkauskerroksen fosforia liukoiseen muotoon. Fosforiluku riippuu maan pH:sta, helposti liukenevan fosforin määrästä, maalajista ja maan humuspitoisuudesta. Fosfaattifosforipitoisuus maanesteessä pyrkii aina tiettyyn tasapainotilaan, johon em. tekijät vaikuttavat.

Pintavalunnan kokonaistyyppipitoisuus riippuu erodoituneen maan humuspitoisuudesta, sen orgaanisen typen määrästä ja mahdollisesti kivennäisperäiseen kiintoainekseen sitoutuneen typen määrästä. Pintaveden nitraattipitoisuudet riippuvat maan typpivaroista, sen mineralisoitumisesta ja toisaalta maassa tapahtuvien hajoamisprosessien typen kulutuksesta ja denitrifikaatiosta. Typen kokonaiskuormitus on maan typpivarojen ohella voimakkaasti riippuvainen kokonaisvalunnasta.

Syysvehnällä fosforikuormituksen kokonaismäärä oli korkea. Todellisuudessa se olisi vielä korkeampi, jos salaojien kautta tuleva kuormitus otettaisiin huomioon. Fosfaattifosforipitoisuus pintavalunnassa oli hiukan alhaisempi kuin muissa tutkituissa vaihtoehdoissa. Tämä johtunee siitä, että syysvehnä käyttää syksyllä varsin pitkään muokkauskerroksen fosforia ja siten alentaa maan liukoisen fosforin määrää pellon ylimmässä pintakerroksessa loppusyksyä kohti. Toisaalta muissa vaihtoehdoissa korjuujätteiden hajotessa liukoista fosforia vapautuu maanesteeseen. Kokonaiskuormituksessa syysvehnän pienemmästä fosfaattipitoisuudesta saatu hyöty muihin menetelmiin nähden kuitenkin menetettiin suuremman pintavalunnan seurauksena.

Perinteinen rinteiden suuntainen kyntö oli tutkituista vaihtoehdoista selvästi huonoin. Kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet olivat niin paljon korkeampia syysvehnään nähden, ettei tuntuvakaan pintavalunnan väheneminen olisi riittänyt pienentämään kokonaiskuormitusta syysvehnän tasolle. Poikittainen kyntö oli typpipitoisuuksien osalta samanlainen kuin normaali kyntö. Kiintoaine ja fosforipitoisuudet sen sijaan olivat alhaisemmat. Poikittainen kyntö vähensi huomattavasti pintavaluntaa ja siten kokonaiskuormitus jäi pienemmäksi kuin syysvehnällä. Pintavalunnan pitoisuudet olivat kuitenkin korkeammat kuin syysvehnällä.

Suuret pintavalunnat saattavat aiheuttaa poikittain kynnetyllä pellolla tilanteen, jossa pintavesi alkaa valua kyntöviilujen yli. Tällöin eroosio ilmeisesti kasvaisi hetkellisesti hyvin suureksi. Tämän riskin vuoksi poikittaista kyntöä ei pitäisi tässä vaiheessa suositella erodoituvilla rinnepeleillä korvaamaan perinteistä syyskyntöä. Sen sijaan aurattomassa viljelyssä, sikäli kun peltoja tarvitsee ajoittain kynnä, rinteiden suuntainen kyntö voitaisiin korvata poikittaisella kynnöllä. Loivasti viettävillä mailla (esim. alle 3 % kaltevuus), joilla eroosioriski on vähäisempi, päistekyntö voitaisiin tehdä korkeuskäyrän suuntaisesti pellon alareunassa esim. 20–30 m levyiseksi. Viljelyksestä olisi jätettävä kokonaan pois poikkeuksellisen kaltevat vesistöihin rajoittuvat peltolohkot sekä vesistöihin ja valtaojiin rajoittuvat peltolohkojen hyvin kaltevat alaosat. Muissa tapauksissa olisi käytettävä suojakaistoja.

Sänkivaihtoehto oli tutkituista menetelmistä paras vaihtoehto. Niin kiintoaine-, kokonaisfosfori- kuin typpipitoisuudet olivat selvästi alhaisimmat, mikä pienentyneen pintavalunnan kanssa aiheutti pienemmän kuormituksen kaikkien ravinteiden osalta syysvehnään nähden. Sänkimuokkaus oli typen osalta selvästi parempi kuin syysvehnä. Fosforikuormitus ja kiintoainekuormitus sen sijaan olivat suuremmat kuin syysvehnällä.

Tasaisilla mailla sänkimuokkaus ja sänki olisivat erityisen suositeltavia viljelykäytäntöjä. Menetelmä soveltuu sekä läpäiseville että läpäisemättömille maalajeille. Nämä menetelmät saattaisivat vähentää jopa salaojien nitraattihuuhtoutumia varsinkin jos typpipitoisuuksien aleneminen johtuu typen biologisesta pidätyksestä.

Yhden kenttäkauden tulosten perusteella näyttäisi siltä, että pellon pintaeroosiota ja sen vesistöhaittoja voitaisiin todellakin pienentää pidättäytymällä kaikista syksyn muokkaustoimenpiteistä vesistöihin rajoituivilla rinnepellolla. Tämä olisi tarpeen myös valtaojien varressa sijaitsevilla rinnepellolla, sitä systemaattisemmin mitä lähempänä lähin vesistö sijaitsee. Vaikka syysvehnä oli normaaliin kyntöön nähden selvästi parempi vaihtoehto, kuormitusmäärät olivat silti niin suuria, että syyskyntöjen korvaaminen syysviljalla ei ilmeisestikään ole riittävä vesiensuojelutoimenpide. Olosuhteissa, joissa eroosiohaitta on ilmeinen, tulisi siirtyä aurattomaan viljelyyn. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että ko. pellot olisivat talvikauden vähintään sängellä. Vaikka nurmivaihtoehtoa ei ollut kenttäkokeissa, otaksuttavasti eroosio nurmella on sänkeä vähäisempää.

Lannoituskäytäntöä olisi muutettava siten, että typpeä ja fosforia käytettäisiin ainoastaan kasvien tarvitsema määrä. Niissä tapauksissa, joissa pellon muokkauskerroksen fosforiluku on liian korkea olisi fosforin käytöstä pidättäydyttävä, kunnes fosforiluku laskee hyväksyttävälle tasolle. Fosforin hyväksikäyttöä happamilla mailla voidaan jossain määrin parantaa kalkitsemalla. Hyväksyttävä fosforilannoitus edellyttäisi säännöllistä muokkauskerroksen fosforipitoisuuden seuranta. Liukoisen fosforin huuhtoutumista lienee muulla tavalla vaikea saada pienemmäksi.

Vuonna 1990 peltoalastamme oli nurmiviljelyssä 30 %, viljakasveilla 54 %, kesantona 9 % ja loput 7 % öljykasveilla, juurikkaalla ja perunalla (Anon. 1991). Jos oletetaan, että peltoviljelyn aiheuttama kiintoainekuorma tulisi tasaisesti koko peltoalalta, niin vilja- ja kesantopellon (63 % p-alasta) eroosion vähentäminen puolella merkitsisi koko peltoviljelyn aiheuttaman eroosion vähenemistä 20 %. Toisaalta jos oletetaan, että nurmialayksikön eroosio olisikin vain kymmenesosa viljapellon eroosiosta, kesannon ja viljapeltojen eroosion puoliintuminen merkitsisi jo 40 % vähennystä koko peltoalan eroosioon. Tämän suuruusella eroosion vähenemisellä olisi jo merkitystä fosforin kokonaiskuormitukseen. Viljanviljelyyn erikoistuneilla tiloilla vesistökuormituksen kannalta suotuisa viljelykierto on mahdollista rakentaa aurattoman viljelyn, sänkimuokkauksen ja viherkesannon varaan.

## Kirjallisuus

- Allmarans, R. R., Unger, P.W. & Wilkins, D.W. 1985. Conservation Tillage Systems and Soil Productivity. Follet, R. F. & Stewart. B. A. 1985. Soil Erosion And Crop productivity. USA. s. 357-412.
- Anon. 1991. Tietovakka 1991. Maatalousalan tiedotuskeskus.
- 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,s. 814-820.
- Heinonen, R., Pessi, Y., Pälikkö, E., Juusela, T., Salonen, M. & Elomaa, A. 1963. Maanviljelysoppi 1. Helsinki. 300 s.
- 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, s. 1110-1114.
- Rekolainen, S. & Kauppi, L. 1990. Maatalouden aiheuttama fosfori- ja typpikuorma vesistöihin. Vesitalous 1:17-18.

- Soveri, J. 1986. Routa ja routiminen. Sovellettu hydrologia. Helsinki. Vesiyhdistys r.y. s. 94–98.
- Tiainen, I. & Puustinen, M. 1989. Peltoviljelyn vaikutus eroosioon. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 190. 71 s. Helsinki.
- Ulen, B. 1984. Nitrogen and Phosphorus to Surface Water from Crop Residues. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet. Avdelning från vattenvård. Ekohydrologi 18. s. 39–44.
- Ulen, B. 1985. Åkermarkens erosion. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet. Avdelning från vattenvård. Ekohydrologi 20. s. 26–35.
- Vakkilainen, P. 1986. Haihdunta ja maavedet. Sovellettu hydrologia. Helsinki. Vesiyhdistys r.y. s. 64–69.

