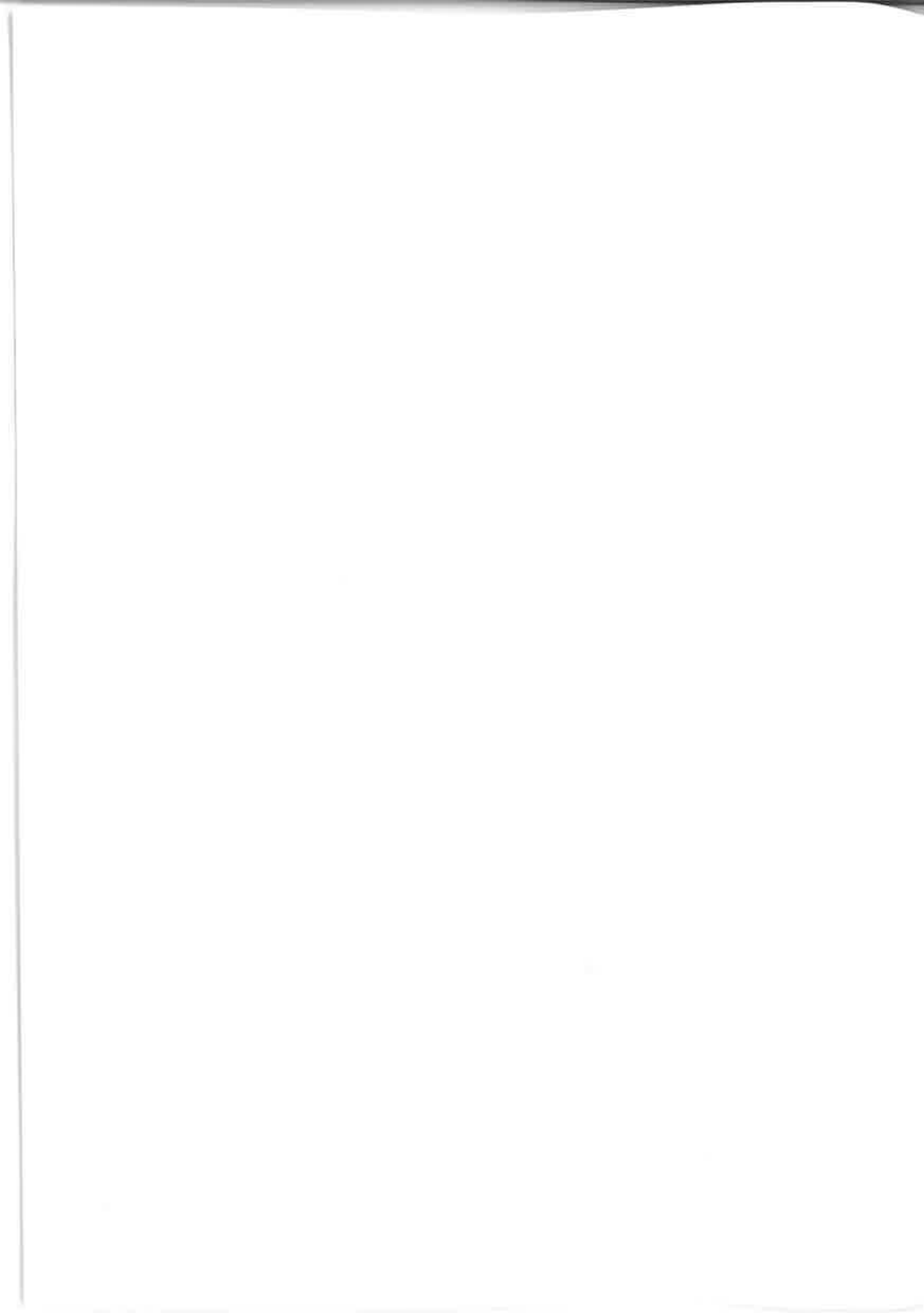


SALAOJITUKSEN TUTKIMUSYHDISTYS RY:N TIEDOTE

N:o 23

PELTOVIILJELYN RAVINNEHUUHTOUTUMIEN  
VÄHENTÄMINEN PELLON VESITALOUTTA  
SÄÄTÄMÄLLÄ

HELSINKI 1998



Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 23

**PELTOVILJELYN  
RAVINNEHUUHTOUTUMIEN  
VÄHENTÄMINEN PELLON  
VESITALOUTTA SÄÄTÄMÄLLÄ**

HELSINKI 1998

Tämän julkaisun on rahoittanut Salaojituksen Tukisäätiö

\* \* \*

Julkaisija: Salaojituksen tutkimusyhdistys ry.  
Toimitus: MMK Rauno Peltomaa  
ISSN 0783 - 392 X

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>Esipuhe</b>	<b>5</b>
<b>Maija Paasonen-Kivekäs:</b> <i>Pellon vesitalouden säädön vaikutus typen huuhtoutumiseen</i>	<b>6</b>
<b>Tommi Peltovuori:</b> <i>Kontaktiajan vaikutus maanesteen liukoisen fosforin pitoisuuteen pohjamaassa – alustavia tuloksia vuodelta 1997</i>	<b>33</b>
<b>Liisa Pesonen:</b> <i>Pellon maaperän vaihtelu lähtökohtana huuhtoutumisherkkyyškartan laatimiselle</i>	<b>40</b>
<b>Risto Uusitalo, Eila Turtola, Markku Yli-Halla:</b> <i>Biologisesti käyttökelpoisen fosforin pitoisuus pinta- ja salaojavesissä</i>	<b>47</b>
<b>Kaisu Haataja</b> <i>Pellon vesitalouden säätö, kannattavuuslaskelmien periaatteet</i>	<b>56</b>
<b>Aikaisemmat julkaisut</b>	<b>58</b>

## Esipuhe

Salaojituksen tutkimusyhdistys selvitti vuonna 1996 meneillään olevia ja suunnitelmassa olevia pellon vesitalouteen liittyviä tutkimushankkeita. Selvityksen tarkoituksena oli koota alan tutkimusta yhteishankkeeksi. Saatujen vastausten pohjalta yhdistys neuvotteli Maa- ja metsätalousministeriön kanssa yhteishankkeen rahoitusmahdollisuuksista. Neuvottelujen lopputulos oli, että yhteistutkimus rajattiin sääätosalaojituksen ja salaojituskasteluun liittyviin tutkimusaiheisiin. Hanke on näin ollen jatkoa yhdistyksen aiempiin sääätosalaojitustutkimuksiin vuosilta 1992-96.

Vuonna 1997 alkaneen kolmivuotisen tutkimushankkeen nimeksi otettiin *“Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säättämällä”* Yhteistutkimuksen käytännön toteuttajina ovat Helsingin yliopiston maa- ja kotitalousteknologian sekä soveltavan kemian ja mikrobiologian laitokset, Maatalouden tutkimuskeskuksen luonnonvarojen tutkimusaitos, Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratorio ja Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Tutkimus painottuu sääätosalaojituksen vaikutuksiin typen ja fosforin huuhtoutumiin ja vaikutusmekanismien selvittelyyn sekä peltolohkon huuhtoutumisherkkyyden määritysmenetelmän kehittämiseen. Lisäksi selvitetään sääätosalaojituksen ja salaojituskastelun taloudellisia vaikutuksia.

Tutkimusten rahoitus tapahtuu Maa- ja metsätalousministeriön, Salaojituksen tukisäätiön ja tutkimusta tekevien laitosten oman rahoituksen turvin. Kolmivuotisen ohjelman kokonaiskustannus on noin 4 miljoonaa markkaa. Rahoituksen järjestymisestä Tutkimusyhdistys esittää tässä yhteydessä rahoittajille parhaat kiitokset.

Tähän tiedotteeseen on koottu taustatietoa eri tutkimusprojektien tavoitteista ja vuoden 1997 työn tuloksia. Maija Paasonen-Kivekkään artikkelin taustalla on lisäksi sääätosalaojitustutkimuksen aiempien vuosien tuloksia. Yhdistys toimii yhteishankkeen vastuorganisaationa. Hankkeen tuloksia julkaistaan tuoreeltaan yhdistyksen tiedotteessa vuosittain.

Prof. Pertti Vakkilainen  
Tutkimuksen johtaja

# Pellon vesitalouden säädön vaikutus typen huuhtoutumiseen

*Maija Paasonen-Kivekäs*

*Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio*

## Johdanto

Maataloudesta on arvioitu huuhtoutuvan typpeä vesistöihin vuodessa noin 33 000 tn, joka muodostaa yli 50 % ihmistoiminnoista johtuvasta kuormituksesta. Peltoviljelyn osuus em. typpikuormituksesta on 30000 tn ja karjatalouden 2900 tn (Ympäristöministeriö, 1998). Maatalouden aiheuttamaksi typpikuormitukseksi peltoalueilta on arvioitu 8-20 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>. Huuhtouma luonnontilaisilta metsäalueilta on vastaavasti 2-2.7 kg ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>. Arviot perustuvat pienillä valuma-alueilla tehtyihin mittauksiin vuosina 1981-1985 ja 1986-1990 (Rekolainen, 1989; Rekolainen et al., 1995). Valtaosa peltoalueilta huuhtoutuvasta tyypestä on leville ja muille perustuottajille käyttökelpoisessa, liuenneessa muodossa. Typpi lisää rehevyyttä merialueellamme, erityisesti Suomenlahdella. Järvissä typpi voi lisätä vesikasvien ja rihmamaisten levien määrää, eräissä rehevöityneissä järvissä myös planktonleviä. Yleensä sisävesien rehevöitymisessä fosfori on kuitenkin kriittinen tekijä (Valpasvuo-Jaatinen et al., 1997; Ekholm, 1998). Vuoteen 2005 asetettujen vesien suojelelun tavoitteiden mukaan pelto-  
viljelystä tulevaa typpikuormitusta on vähennettävä vähintään 50 % vuosien 1990-1993 arvioidusta keskimääräisestä tasosta (30 000 tn a<sup>-1</sup>) (Ympäristöministeriö, 1998).

Typen huuhtoutuminen riippuu ensisijaisesti maaperässä olevan veden ja vesiliukoisen typen määrästä. Peltoviljelyssä niihin vaikuttavat puolestaan useat eri tekijät, joista tärkeimmät ovat sadanta, maalaji, viljelykasvi, ojitus ja viljelytoimenpiteet sisältäen lannoituksen (Brink, 1984; Jürgen-Geschwind, 1989; Burt et al., 1993; Randall, 1998). Valtaosa maaperän tyypestä on sitoutuneena orgaaniseen ainekseen. Sen hajotessa syntyy ammoniumtyppeä (mineralisaatio), joka puolestaan hapettuu nitraattitypeksi (nitrifikaatio). Nitraatti liukenee maaveteen ja huuhtoutuu herkästi juuristokerroksesta salaojien kautta vesistöihin tai syvemmälle pohjaveeteen. Eloperäisten ja happamien sulfaattimaiden valumavesissä on runsaasti

myös ammoniumtyyppä. Maaperän kosteus vaikuttaa erityisesti nitraattitypen muodostumiseen, sillä nitrifikaatiota tapahtuu vain hapellisissa olosuhteissa. Toisaalta jos maa on hyvin märkää, niin nitraattityyppi poistuu maasta typpikaasuina ilmakehään (denitrifikaatio). Nämä prosessit ovat erityyppisten mikrobien aikaansaamia, minkä vuoksi niiden nopeus riippuu paljon myös maan lämpötilasta sekä hiilen määrästä ja happamuudesta. Pellon kosteus tilaa säätelee myös kasvien ravinteiden ottoa ja siten lannoitteiden hyväksikäyttöä. Tällä on puolestaan merkitystä maaperän vesiliukoisien typen määrään sadonkorjuun jälkeen.

Suurin osa typpihuuhtoumista syntyy sulannan ja syysstateiden aiheuttamien valunhuippujen yhteydessä. Myös kesästateet saattavat aiheuttaa huomattavia kuormituspiikkejä lannoitteiden huuhtoutuessa. Useissa tutkimuksissa salaojituksen on todettu lisänneen valuntaa ja typen huuhtoutumista avo-ojitukseen verrattuna, mutta toisaalta se on pienentänyt kiintoaine- ja fosforikuormitusta (esim. Seuna ja Kauppi, 1981; Skaggs ja Breve, 1994; Evans et al., 1995). Perinteellisen salaojituksen toimivuutta sekä ympäristön että kasvuston kannalta voidaan tehostaa nk. sääätosalaojituksella, jossa salaojavirtaamaa säädelään laskuaukon patarakenteilla. Näin valuntaa vesistöihin voidaan pienentää ja varastoida vetä pelloille mm. kasvien käyttöön. Salaojakastelussa (pohjavesikastelu) putkistoon pumpataan vettä kasvukaudella, jolloin kasvien vesitalous paranee huomattavasti. Molemmat sääätömenetelmät vaikuttavat siten myös kasvien ravinteiden ottoon sekä em. nitraattitypen prosesseihin.

Pellon vesitalouden säätöä on tutkittu Lapualla ja Tyrnävällä sijaitsevilla peltoalueilla (Paasonen-Kivekäs et al. 1996; Taskinen & Paasonen-Kivekäs, 1996; Kleemola & Teittinen, 1996; Paasonen-Kivekäs et al., 1997; Paasonen-Kivekäs et al., 1998).

Tässä artikkelissa on esitetty pohjaveden syvyyden ja laadun sekä sadon ja maaperän mittaustuloksia vuosilta 1993-1996. Lisäksi on esitetty myös viime vuosina lähinnä Yhdysvalloissa ja Kanadassa saatuja tutkimustuloksia. Näissä tutkimuksissa on selvästi keskitytty säätoojituksen ja salaojakastelun yhteiskäyttöön, jolloin pellon vesitaloutta voidaan paremmin säätää kasvustolle optimaaliseksi kuin pelkässä säätoojituksessa. Tutkimusten perusteella menetelmien vaikutukset typen huuhtoutumiseen vaihtelevat hyvinkin paljon peltoalueesta, ojituksesta, sääolosuhteista ja säätoitoimenpiteistä riippuen.

## Mittauksia Lapuan ja Tyrnävän peltoalueilta

### Koealueet

Säätöojituksen koealue oli Lapuan Ylikylässä. Pellon pintamaa oli hietaa ja pohjamaa savista hiesua. Ojitus tehtiin vanhaan salaojituksen siten, että ojaväli tihennettiin kaksinkertaiseksi 10 metriin ja kokoojan laskuaukkoon asennettiin säätökaivo. Padotus vaikutti vain osaan peltolohkoa, joka edusti säätöojitettua aluetta. Vertailualueena toimi viereinen salaojitettu lohko, jossa oli myös tihennetty ojitus. Salaojakastelua tutkittiin Tyrnävällä noin 8 ha:n hietapellolla. Kastelu toteutettiin kahdella ojitustavalla. Toisessa ojituksessa imut olivat 1.1 metrin syvyydessä 14 metrin välein ja ne toimivat sekä kuivatusta että kastelua varten (1-putkitusalue). Toinen ojitus koostui kahdessa kerroksessa olevista imuojista. Kasteluojat olivat 60-70 cm:n syvyydessä 4 metrin välein ja kuivatusojat 1.1 metrin syvyydessä 30 metrin välein (2-putkitusalue). Vertailualueella ei ollut salaojitusta eikä kastelua. Kuivatusvedet kerättiin varastoaltaaseen, josta ne pumpattiin takaisin pellolle. Altaaseen johdettiin kasteluvettä myös viereisestä Ängeslevänjoesta. Taulukossa 1 on esitetty tiedot viljelykasveista ja lannoituksesta. Lapuan pelloille levitettiin lisäksi tärkkelystehtaan jätevesiä lokakuussa 1996.

	1993	1994	1995	1996
<b>Lapua</b>				
Kasvi	Peruna	Peruna	Peruna	Kaura
Lajike	Posmo/Saturna	Posmo/Saturna	Saturna	Virna
N-lannoitus, kg ha <sup>-1</sup>	76	76	83	70
Kylvö, pvm	26.5.	23.5.	3-4.6.	23.5.
Sadonkorjuu, pvm	4.9., 18-19.9.	28-29.9.	11.9.	14.9.
<b>Tyrnävä</b>				
Kasvi		Kaura	Peruna	Peruna
Lajike		Leila	Amazon	Amazon
N-lannoitus, kg ha <sup>-1</sup>		91	154 <sup>1)</sup>	67
Kylvö, pvm		12.5.	11.5.	15.5.
Sadonkorjuu, pvm		27.8.	29.8.	3.9.

<sup>1)</sup> Turpeeseen sekoitettua karjanlantaa 30 000 kg ha<sup>-1</sup>, liukoinen-N 37 kg ha<sup>-1</sup>

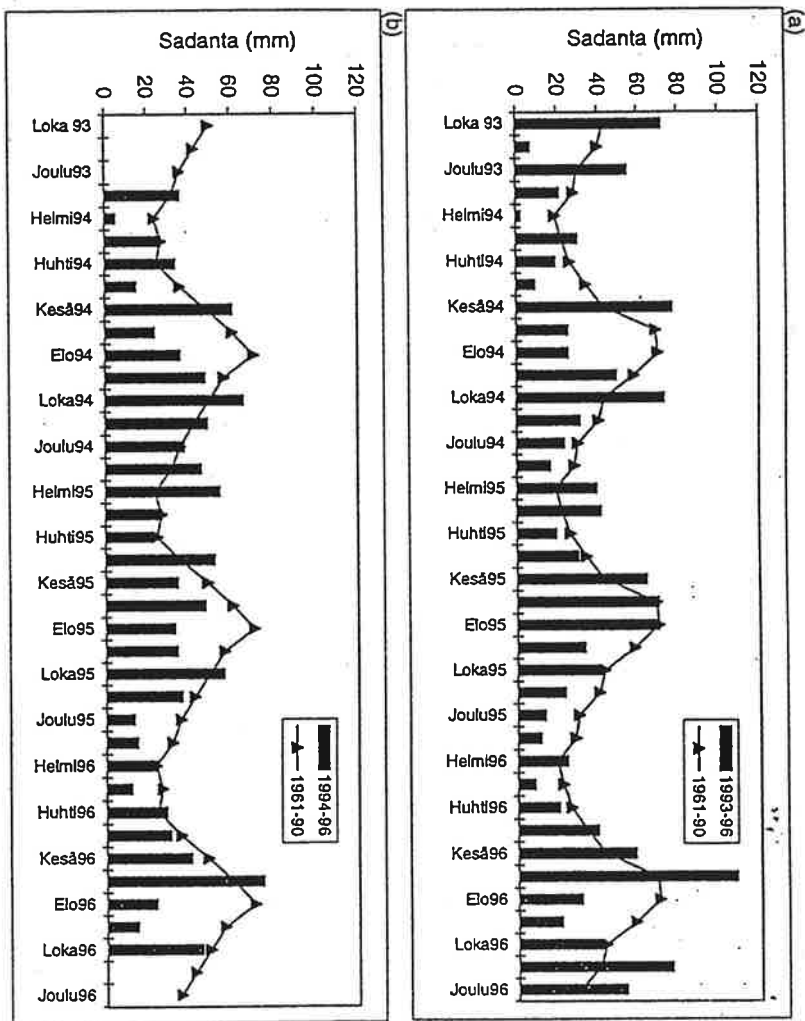
**Taulukko 1.** Koealueiden viljelytiedot 1993-1996.



Koealueet ja mittausjärjestelyt on kuvattu tarkemmin mm. Salaojituksen Tutkimusyhdistys ry:n tiedotteessa No. 21 (Paasonen-Kivekäs et al., 1996; Taskinen & Paasonen-Kivekäs, 1996).

Kuvassa 3 on esitetty kuukausisadannat Ilmatieteen laitoksen havaintoasemilta, joista Kauhavan lentoasema sijaitsee lähellä Lapuaa ja Ruukki (Revonlahti) lähellä Tyrnävää. Sademäärä Kauhavan lentoasemalla vuonna 1994 (384 mm) oli huomattavasti pienempi kuin pitkän ajanjakson keskiarvo (482 mm). Vuonna 1995 (457 mm) ja 1996 (490 mm) sademäärät olivat lähes normaalit. Kauhavalla kuivimmat ajanjaksot olivat heinä-elokuu 1994 ja elo-syyskuu 1996, jolloin sadanta oli vain 35-45 % keskimääräisestä arvosta, ja syksy 1995. Poikkeuksellisen runsaita vesisateita esiintyi kesäkuussa 1994, kesä-heinäkuussa 1996 ja marras-joulukuussa 1996. Ruukin sadanta vuosina 1994 (439 mm), 1995 (460 mm) ja 1996 (313 mm, tammi-lokakuu) jäi alle pitkän ajanjakson keskiarvon (511 mm, 432 mm tammi-lokakuussa). Kasvukauden kuivat ja runsassateiset jaksot sattuiivat samoihin aikoihin kuin Kauhavalla. Ruukissa heinäkuun 1996 sadanta oli vain 23 % normaalia suurempi, mutta suurin osa sateista tuli muuttaman vuorokauden aikana kuten Lapuan seudullakin. Ruukissa syksyn 1994 sademäärä oli lähes normaali ja syksyn 1995 sademäärä noin 45 mm normaalia pienempi. Syyskuu ja lokakuun alku 1996 olivat erittäin kuivia.

Seuraavassa on tarkasteltu pohjaveden pinnan syvyyden ja typpipitoisuuksien vaihtelua koealueilla koko tutkimusjaksolla. Tulokset perustuvat manuaalisesti mitattuihin pohjaveden pinnan syvyyksiin. Lisäksi on esitetty Tyrnävän koealueen satotuloksia sekä maaperän kosteuksia ja nitraattitypen määriä.



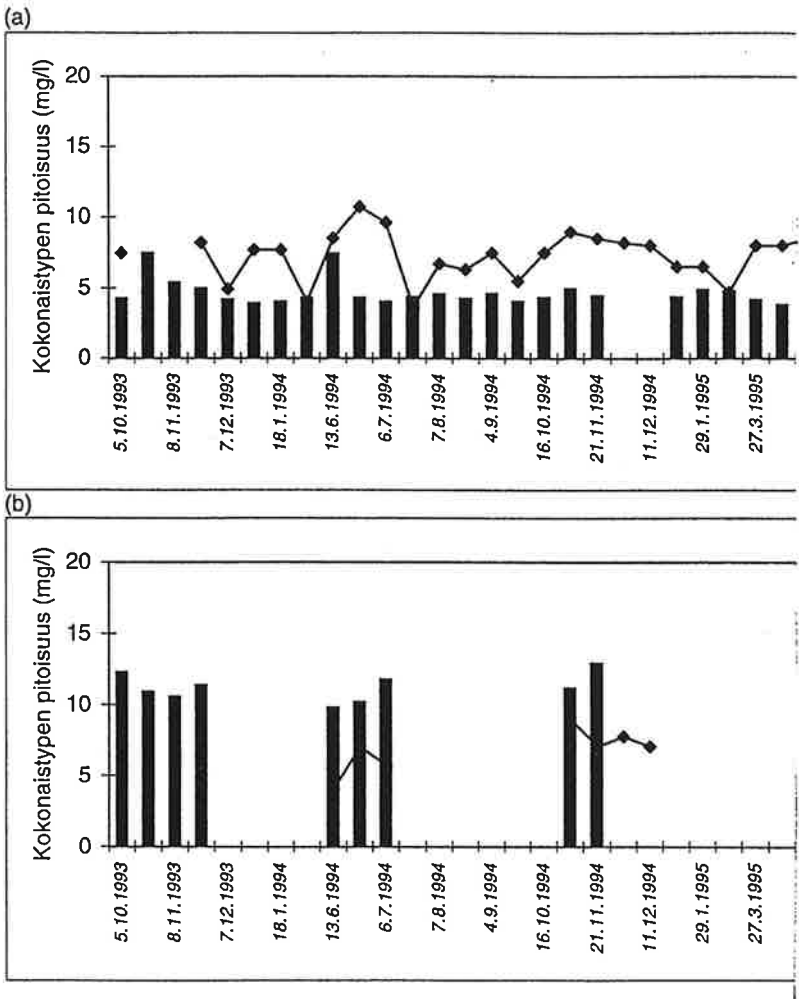
**Kuva 1.** Kuukausisadannat (korjaamaton) 1993-1996 ja pitkän ajanjakson keskiarvot 1961-1990 (a) Kauhavan lentokentällä ja (b) Ruukki, Revonlahdessa (Ilmatieteenlaitoksen havainnot).

## *Pohjaveden syvyys ja typpipitoisuudet Lapualla*

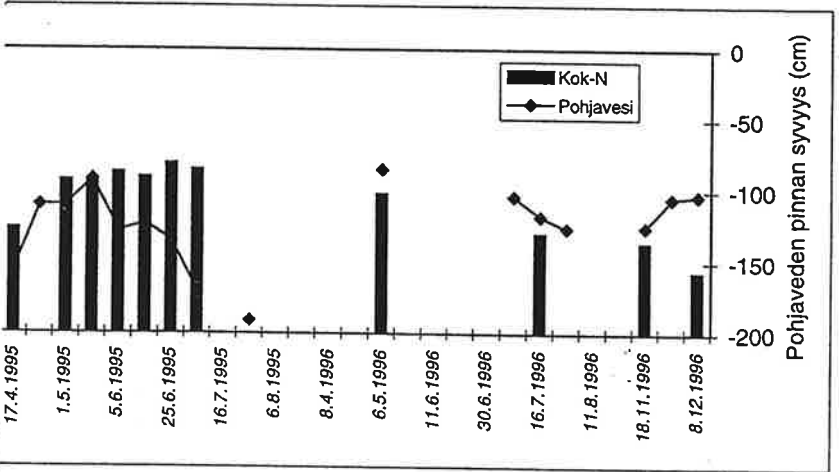
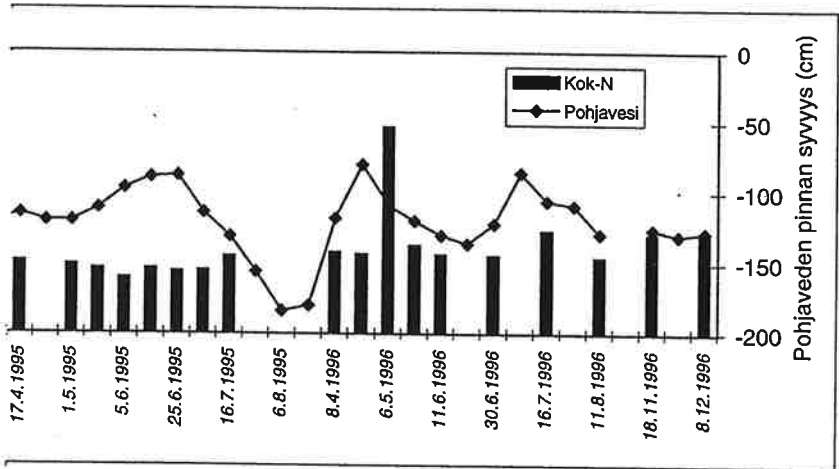
Lapualla tavoitteena oli pitää säätökaivon padotus päällä mahdollisimman kauan ja seurata miten veden pinta poikkeaa vertailualueesta. Säätökaivon suurin padotuskorkeus oli aluksi 70 cm kaivon laskuaukon pohjasta, mutta kesäkuun alussa 1995 sitä nostettiin 106 cm:iin. Padotus laitettiin 50 cm:iin 5. lokakuuta 1993 ja se oli päällä lähes jatkuvasti (padotus 50-106 cm) lokakuulle 1996, jolloin padotus poistettiin kokonaan (Paasonen-Kivekäs et al., 1997). Kuvassa 2 on esitetty pohjaveden syvyys maanpinnasta ja kokonaistypen pitoisuus säätöojitetulla alueella ja normaalisti salaojitetun alueella. Säätöojituksessa pohjaveden pinta oli selvästi korkeammalla kuin normaalissa ojituksessa lähes koko tutkimusjakson ajan. Pinta aleni alle havaintosyvyyden syksyllä 1995 ja 1996 pienestä sadannasta ja suuresta haihdunnasta johtuen. Sateinen syksy 1994 ja lauha talvi 1995 aiheuttivat sen, että pohjaveden pinta pysyi korkealla läpi talven. Tämän vuoksi salaojavaluntaa syntyi runsaasti loppukeväästä ennen kuin padotuskorkeutta nostettiin. Valuntaa säätökaivosta esiintyi myös alkukesällä 1994 ja kesä-heinäkuussa 1996, jolloin sademäärät olivat poikkeuksellisen suuria ja pohjavesi korkealla jo ennen sateita. Tällöin myös normaalisti ojitetun alueen pohjavesi nousi salaojitusyvyyteen, josta se laski suhteellisen nopeasti alle havaintosyvyyden. Marras-joulukuun 1996 näytteet edustavat tilannetta, jolloin säätökaivossa ei ollut padotusta ja sateita edelsi pitkä kuiva kausi.

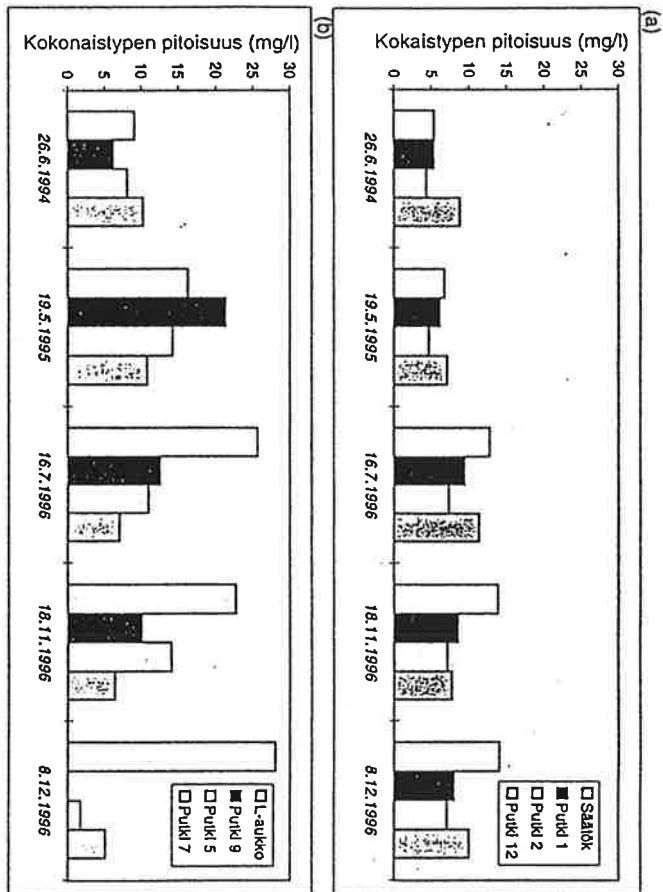
Kokonaistypen pitoisuudet koealueiden sisällä vaihtelivat jonkin verran, mutta ajallinen vaihtelu yksittäisessä putkessa oli yllättävän pientä. Pitoisuudet olivat huomattavan korkeita läpi vuoden varsinkin normaalisti ojitetulla alueella. Säätöojituksen keskimääräiset pitoisuudet olivat 5.2-7.5 mg l<sup>-1</sup> ja normaalin salaojituksen 11.4-16.0 mg l<sup>-1</sup>. Säätöojitetulla alueella ammoniumtyppi muodosti 39-66 % kokonaistypestä, kun taas normaalisti ojitetulla alueella nitraattityppi oli vallitseva (81-87 %).

Muutamissa havaintoputkissa suurin pitoisuus molemmilla alueilla oli noin 30 mg N l<sup>-1</sup>. Kuvassa 3 on esitetty typpipitoisuuksia myös ojastoista purkautuneista vesistä. Salaojaveden pitoisuudet vertailualueella olivat selvästi korkeampia kuin säätöojitetulla alueella. Ajoittain ne poikkesivat myös paljon läheisten pohjavesiputkien pitoisuuksista. Säätöojitetulla alueella vaihtelu havaintopisteiden välillä oli huomattavasti pienempää.



**Kuva 2.** Pohjaveden pinnan syvyys ja kokonaistypen pitoisuus (a) säätöojituksessa (havaintoputki 2) ja (b) normaalissa salaojituksessa (havaintoputki 7) Lapuan koealueella.





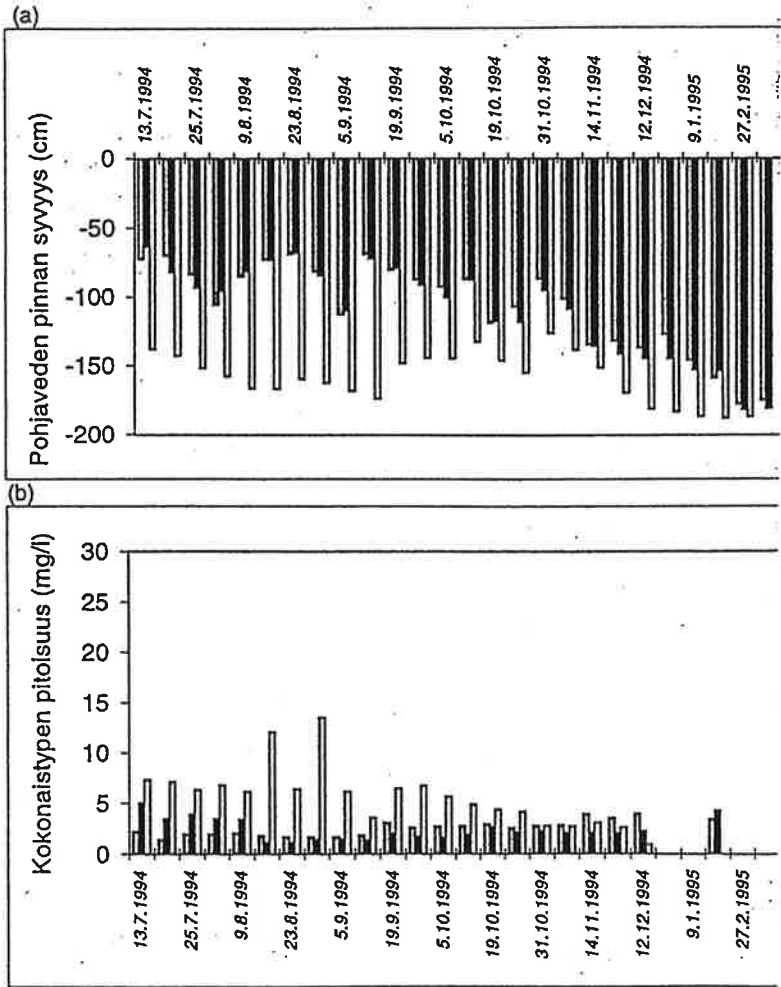
**Kuva 3.** Kokonaistypen pitoisuus salaoja- ja pohjavesissä (a) säätöojitetulla ja (b) normaalisti ojitetulla alueella Lapualla. Säätök=säätökaivo, L-aukko=laskuaukko (normaaliiojituksen imuojat) ja putki=pohjaveden havaintoputki.

Kokonaistypen pitoisuudet olivat keskimäärin huomattavasti pienempiä säättöjitetulla alueella kuin normaalisti ojitetulla alueella. Eron ei voida osoittaa johtuvan säättöjityksestä, sillä myös maaperän ominaisuuksissa oli eroja, jotka vaikuttivat typen esiintymiseen maaperässä. Suurin syy oli todennäköisesti maaperän happamuus. Säättöjitetulla alueen pH-profiili oli tyypillinen happamille sulfaattimaille. Muokkauskerroksen alapuolella pH oli 3.8-4.0 noin kahden metrin syvyyteen asti. Sen alapuolella pH nousi arvoon 6.2. Normaalisti ojitetulla alueella pH vaihteli 5.3-5.6 muokkauskerroksen alapuolella (Paasonen-Kivekäs et al., 1997). Tämä selittää myös korkeat ammoniumpitoisuudet säättöjitetulla alueella.

### *Pohjaveden syvyys ja typpipitoisuudet Tyrnävällä*

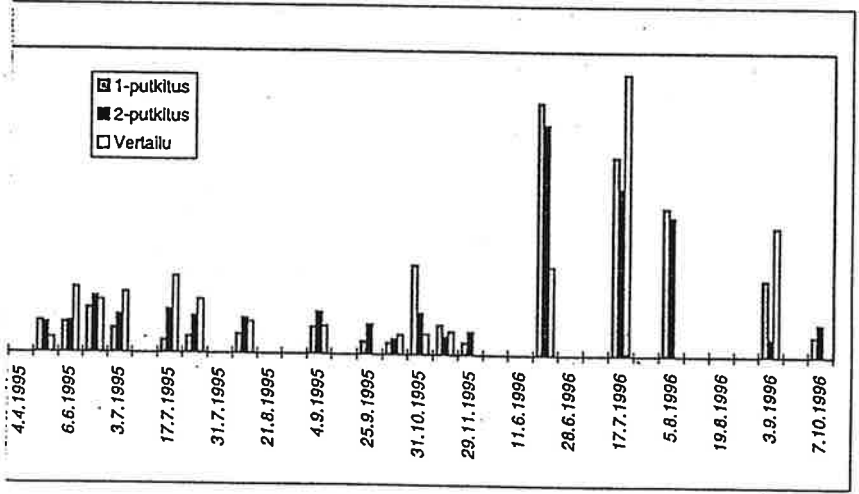
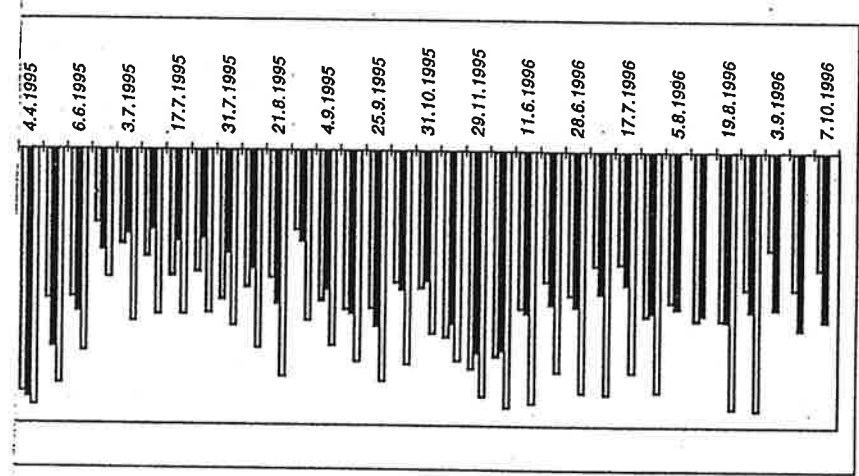
Kuvassa 4a on esitetty pohjaveden syvyydet ja kuvassa 4b kokonaistypen pitoisuudet Tyrnävän koealueilla. Vuonna 1994 kastelu aloitettiin kesäkuun alussa ja vuosina 1995-1996 toukokuun lopussa ja sitä jatkettiin elokuun lopulle asti. Kasteluvettä pumpattiin lähes jatkuvasti niin, että osa siitä palautui säättökaivojen kautta takaisin varastoaltaaseen. Säättökaivoissa oli padotus päällä loppusyksyyn asti, mutta talveksi se otettiin pois. Pelto sijaitsi joen törmällä ja se oli hyvin vettä läpäisevää hietaa, joten pelto oli luonnostaan hyvin kuiva. Kastelu nosti selvästi pohjaveden pintaan vertailualueeseen nähden. Ero tasoittui vähitellen loppuvuotta kohti. Esimerkiksi keväällä 1995 pohjavesi oli lähes samalla syvyydellä koko peltoalueella. Vertailualue sijaitsi 2-putkitusalueen reunassa, minkä vuoksi kasteluvesi vaikutti jonkin verran myös sen havaintoarvoihin. Lokakuussa 1997 ilmeni, että matala kasteluputkisto oli pahoin tukkeutunut kasvien juurista ja maa-aineksesta. Putket olivat ilman ympäröityä. Tukkeutumista oli havaittavissa jo syksyllä 1995. Vuonna 1997 kaksoisputkitusalueella kasvoi apilaa. Syvemmillä olevat imuojat, joiden ympäröityä oli kookoskuitu, olivat kuitenkin hyvässä kunnossa.

Pohjaveden kokonaistypen pitoisuudet olivat vertailualueella selvästi korkeammat kuin kastelualueilla kesällä 1994. Syksyä kohti erot tasaantuivat. Kesällä 1995 pitoisuuksissa ei ollut niin selvää eroa kuin edellisenä vuonna, mutta pitoisuudet koko alueella olivat edelleen selvästi alle 10 mg/l. Sitä vastoin kesä-elokuussa 1996 pitoisuudet olivat erittäin korkeita (8-25 mg/l) kaikilla alueilla. Tämä johtui runsaista sateista, jotka huuhtoivat lannoitetta syvemmälle maaperään. Suurin osa kokonaistypestä oli nitraattityppiä.

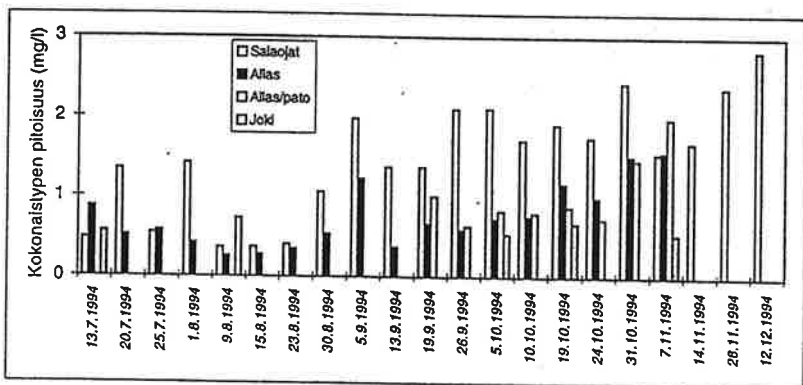


**Kuva 4.** (a) Pohjaveden pinnan syvyys ja (b) kokonaistypen pitoisuus Tyrnävän koalueella.





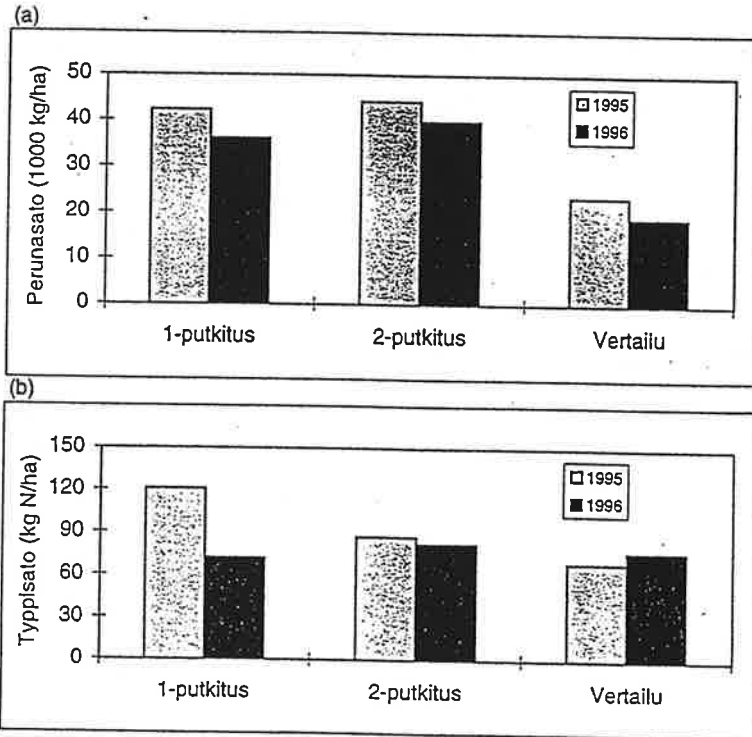
Kuvassa 5 on esitetty salaojista altaaseen purkautuneen veden sekä altaan ja altaasta jokeen purkautuneen veden (allas/pato) typpipitoisuuksia heinä-joulukuussa 1994. Kuvassa on lisäksi muutamia havaintoja jokiveden pitoisuuksista. Kesällä, kun kasteluvettä pumpattiin ojaan, salaojaveden pitoisuudet vaihtelivat 0.2-0.8 mg/l. Ne nousivat syksyllä 1.4-2.1 mg:aan/l sen jälkeen, kun kastelu lopetettiin. Altaan kesäaikaiset pitoisuudet olivat 0.3-0.9 mg/l ja myös ne nousivat syksyä kohti (0.4-1.6 mg/l). Altaasta jokeen purkautuvan veden typpipitoisuudet olivat selvästi pienempiä kuin salaojaveden aina lokakuun loppuun asti. Ängeslevänjoessa pitoisuudet vaihtelivat 0.5-0.7 mg/l. Kesä-heinäkuussa 1996 altaaseen purkautui runsaasti salaojavesiä, joiden typpipitoisuus (1.5-11 mg/l) oli poikkeuksellisen suuri samoin kuin em. pohjavesinäytteissä. Elokuuhun mennessä pitoisuudet laskivat 0.9 mg:aan/l. Ko. ajanjaksolla altaan pitoisuudet vaihtelivat 0.6-1.0 mg/l. Kasvukaudella altaan veden laatuun vaikuttivat kasteluvien pumppaus joesta ja sen virtaus pellolta takaisin altaaseen. Altaan veden laatu säilyi hyvänä kesällä 1994 ja 1996, mutta viljelijän mukaan kesällä 1997 vesi oli selvästi huonolaatuisempaa. Altaassa oli paljon levää ja vesikasveja, mikä johtui todennäköisesti poikkeuksellisen lämpimästä kesästä.



**Kuva 5.** Altaaseen purkautuvien salaojien, altaan ja joen typpipitoisuudet Tynmävällä vuonna 1994.

### Kasvuston ja maaperän typpi Tyrnävän koealueella

Salaojakastelun kaurasato (1994) oli 41-68 % suurempi kuin vertailualueella. Vuonna 1995 kastelu lisäsi perunasatoa 80-88 % ja vuonna 1996 91-110 % (kuva 6a; Kleemola ja Teittinen, 1996). Myös sadon typpimäärä oli korkeampi kastelluilla alueilla kuin vertailualueella vuosina 1994-1995 (kuva 6b). Sitä vastoin vuonna 1996 pienin typpimäärä ( $72 \text{ kg ha}^{-1}$ ) mitattiin alueelta, jossa kastelu tehtiin 1.1 metrin syvyydessä olevien imuojien kautta.



**Kuva 6.** Perunasato ja sen typpimäärä Tyrnävällä vuosina 1995-1996 (Kleemola & Teittinen, 1996; Teittinen & Paasonen-Kivekäs, 1996).

Kaksoisputkitusalueella typpimäärä oli 82 kg ha<sup>-1</sup> ja vertailualueella 77 kg ha<sup>-1</sup>. Perunan typpipitoisuus oli 0.92 % kastelluilla alueilla ja vertailualueella 1.64 % kuivapainosta. Vuonna 1995 kastelualueilla perunan typpimäärät olivat 25-45 % korkeampia kuin vertailualueella. Myös silloin vertailualueen pitoisuus oli korkeampi (1.36 %) kuin kastelualueiden (1.06 %). Kasvuston mittaus tulokset vaihtelivat paljon koealueiden sisällä. Tuloksia ovat yksityiskohtaisemmin esittäneet Kleemola & Teittinen (1996).

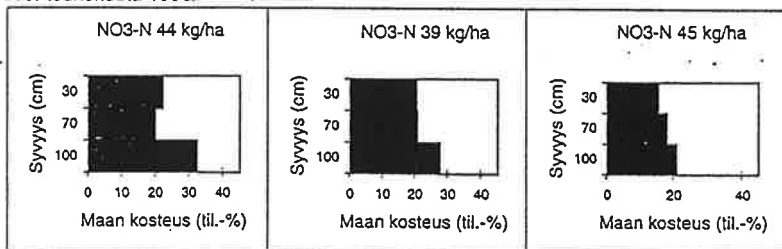
Maan kosteudessa oli selvät erot kastelualueiden ja vertailualueen välillä, mikä on selvää pohjavesitulostenkin perusteella. Esimerkiksi toukokuussa 1996 kosteus oli suhteellisen tasaisesti jakautunut koko 100 cm:n profiilissa, mutta kesällä kastelualueiden kosteus varsinkin 30 cm:n syvyydestä alaspäin oli selvästi korkeampi kuin vertailualueella (kuva 6). Syksyllä pitkän kuivan kauden jälkeen vertailualueen pohjamaassa kosteus oli noin 10 tilavuus-%, kun se kastelluilla alueilla oli 25-35 tilavuus-%. Nitraattitypen tuloksissa hajonta oli erittäin suuri, minkä vuoksi systemaattisia eroja ei havaittu vuosina 1994 ja 1995. Sitä vastoin vuoden 1996 näytteissä näkyi myös nitraatti-typessä selvät erot, vaikka alueiden sisäinen hajonta oli edelleen suuri (kuva 7). Toukokuussa ennen lannoitusta nitraattimäärä koealueilla oli lähes sama, mutta myöhemmin määrä kastelualueilla pieneni selvästi vertailualueeseen nähden. Koska näytepisteitä oli vähän ja näytteiden hajonta suuri, niin nitraatin absoluuttiset määrät varsinkin kasvukaudella ovat epäluotettavia. Mineraalitypen jakautuminen perunakasvin ympärillä on todettu vaihtelevan erittäin paljon, minkä vuoksi edustava näytteenotto kasvukaudella on hankalaa (Hofman et al., 1993). Tämän vuoksi nitraattitypen arvo 17.7.1996 (kuva 6) hehtaaria kohti on liian korkea, mutta erot eri alueiden välillä tulevat kuitenkin selvästi esille. Mahdollisia tekijöitä, joista erot typpimäärissä johtuvat, on esitetty myöhemmin.

1-putkius

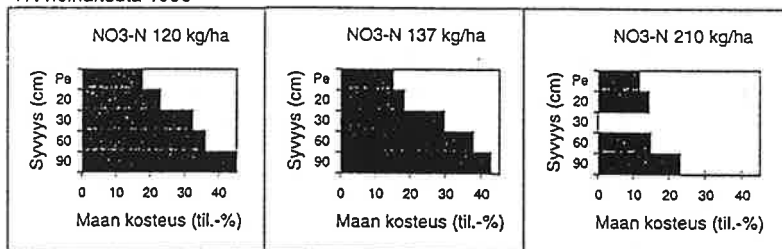
2-putkius

Vertailualue

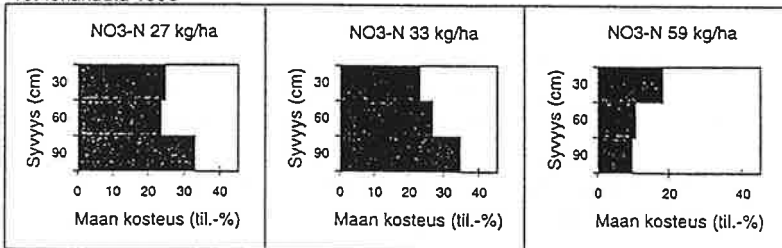
13. toukokuuta 1996



17. heinäkuuta 1996



15. lokakuuta 1996



**Kuva 7.** Maankosteus eri kerroksissa ja nitraattitypen ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) määrä koko profiilissa vuonna 1996.

Pe=perunapenkki.

## Säätöojituksen ja padotuskastelun vaikutus typen huuhtoutumiseen

Edellä on esitetty mittaustuloksia pohjaveden pinnan syvyydestä ja typpipitoisuuksista peltoalueilta, joissa käytettiin säätöojitusta, salaojakastelua ja normaalia salaojitusta. Lisäksi on esitetty tuloksia maaperän nitraattitypestä ja sadosta Tyrnävän koealueella, jossa erot suurella varmuudella johtuvat salaojakastelusta. Valumavesien määrää ja laatua koealueilla ei pystytty mittaamaan, minkä vuoksi yksikäsitteisiä tuloksia menetelmien vaikutuksista ravinnehuuhtoumiin ei ole saatavilla Suomen olosuhteissa. Yhdysvalloissa ja Kanadassa on tutkittu laajasti eri ojitusmenetelmien vaikutuksia pelloilta tulevaan typpikuormitukseen. Näiden tietojen perusteella on arvioitu säätötoimenpiteiden vaikutuksia typen huuhtoutumiseen.

Pohjaveden syvyys säätöojituksessa käyttäytyy eri tavalla kuin salaojakastelussa. Säätöojituksella hidastetaan pohjaveden pinnan alenemista padottamalla laskuaukon virtaamaa. Tämän seurauksena maan kosteus kasvaa koko profiilissa ja siten myös kasveille käyttökelpoisen veden määrä. Pohjaveden pinta saattaa laskea hyvinkin syvälle sateettomina kausina kuten loppukesällä 1996 Lapualla. Salaojakastelussa vettä pumpataan ojaan, jolloin pohjaveden pinta voidaan pitää tietyllä syvyydellä koko kasvukauden ajan. Keväällä ennen kastelun aloittamista ja kasvukauden jälkeen ojitus toimii säätöojituksen tavoin. Säätömenetelmien vaikutukset valuntaan ja maaveden typpipitoisuuksiin sekä satotasoon eroavat toisistaan.

Skaggs ja Breve (1994) ja Evans et al. (1995) ovat esittäneet yhteenvetona Yhdysvalloissa tehdyistä tutkimuksista, joissa selvitettiin säätöojituksen vaikutuksia ravinnehuuhtoumiin. Säätöojitetuilta alueilta kokonaistyppihuhtoumat olivat keskimäärin 45 % pienempiä kuin normaalisti ojitetuilta pelloilta sekä avo- että salaojituksessa. Typpihuhtoumien aleneminen johtui lähes täysin pienentyneestä kokonaisvalunnasta. Keskimäärin vuotuinen valunta väheni noin 30 %, mutta säädön merkitys vaihteli paljon sadannasta riippuen. Tietyissä olosuhteissa säätöojituksella ei ollut ollenkaan vaikutusta tai se jopa lisäsi valuntaa. Säätöojitus ei merkittävästi vaikuttanut pelloilta purkautuvien vesien pitoisuuksiin. Nitraattitypen pitoisuus väheni 10-20 % normaaliin ojitukseen verrattuna, mutta kokonaistypen pitoisuuksissa vähenemistä ei havaittu.

Myös Pohjois-Italiassa tehdyt kenttäkokeet osoittivat, että säättöjitus pienensi valuntaa ja siten ravinnehuuhtoumia, mutta ravinnepitoisuuksiin sillä ei ollut merkitystä (Bendoricchio et al., 1994). Kaiken kaikkiaan säättöjituksen vaikutukset riippuvat paljon ojituksesta ja säädön ohjauksesta sekä peltoalueen ja maaperän ominaisuuksista, sääolosuhteista ja viljelykasvista.

Salaojakastelun vaikutus valuntaan ja purkautuvien vesien typpipitoisuuksiin riippuu paljon kastelun toteutuksesta (vaihteleva tai vakio pohjaveden pinta), padotuskorkeudesta ja säätilasta kuten säättöjituksessa (Skaggs ja Breve, 1994). Salaojakastelu saattaa lisätä merkittävästi valuntaa kasvukaudella, koska maaperässä on suhteellisen vähän varastotilavuutta korkeasta pohjaveden pinnasta johtuen. Sitä vastoin kastelun on todettu pienentäneen valumavesien typpipitoisuuksia, minkä vuoksi huuhtoumat voivat olla pienempiä kuin normaalisti ojitetuilla alueilla. Kanadassa tehdyissä kokeissa salaojakastelu (hiesumaa; padotuskorkeus 75 cm maanpinnasta) lisäsi valuntaa noin 80-280 % normaaliin salaojitukseen verrattuna huhti-lokakuussa. Nitraattitypen huuhtouma kastelualueella oli kuitenkin 30 % pienempi kuin normaalissa salaojituksessa, koska pitoisuudet kastelualueella olivat alhaisemmat (Mejia ja Madramootoo, 1998). Toisessa Kanadassa tehdyssä tutkimuksessa säättöjitus/salaojakastelu (hieno hieta; padotuskorkeus 40 cm maanpinnasta) lisäsi kasvukauden valuntaa 19 % ja myös nitraattitypen huuhtoutumista 16 % normaaliin salaojitukseen verrattuna (Tan et al., 1998). Kokonaisvalunta (toukokuu 1995-huhtikuu 1997) säädetyltä alueelta oli kuitenkin 9 % ja kokonaistypen huuhtouma 37 % pienempi kuin normaalisti salaojitetulta alueelta. Typpi-huuhtouman väheneminen johtui pääosin pienentyneestä nitraattitypen pitoisuudesta.

Pohjaveden pinnan syvyyden ja typpipitoisuuden välistä yhteyttä on selvitetty useissa tutkimuksissa, joita on tehty laboratorio- (Brown et al., 1998), lysimetri- (Madramootoo, 1993; Kanwar et al., 1996; Barkle et al., 1998) ja kenttäkokeilla (esim. Chevallier, C. ja Turpaud, Y. 1996; Elm et al., 1998; Mirjat ja Kanwar, 1998; Willis et al., 1998) padottamalla pohjaveden pintaa tietylle syvyydelle. Yleensä nitraattitypen pitoisuudet pienenevät sen mukaan, mitä lähempänä pohjavesi oli maan pintaa. Pitoisuudet pienenevät myös näytteenottosyvyyden kasvaessa kaikissa käsittelyissä (Kanwar et al., 1996). Pitoisuuksien vähenemisen oletetaan johtuvan suurimmaksi osaksi denitrifikaatiosta, jossa nitraattityppi muuttuu välivaiheiden kautta kaasumaiseksi typeksi ( $N_2O$ ,  $N_2$ ) ja haihtuu ilmakehään. Myös kasteluveden aiheuttama laimeneminen ja mahdollisesti lisääntynyt kasvien typenotto pienentävät nitraattitypen pitoisuuksia.

Pohjaveden pinnan pitäminen maanpinnan ja salaojajoitussyvyyden välissä luo kyllästyneet olosuhteet maaperään tietyllä syvyydelle, mikä edistää denitrifikaatiota. Ilmiötä on tutkittu mittaamalla kaasumaisen typen ( $N_2O$ ) muodostumista erilaisissa säätösystemeissä (esim. Elm et al., 1998; Mejia ja Madramootoo, 1998). Nitraatin häviöitä maaperässä on arvioitu myös merkkiainekokeilla (esim. Brown et al., 1998). Denitrifikaation suuruus vaihteli paljon maalajin ja koeolosuhteiden mukaan eikä maan kosteuden merkitystä saatu aina esille (esim. Elm et al., 1998). Tämä on luonnollista, sillä reaktion vaikuttavat monet tekijät, joiden suhteellinen merkitys kirjallisuuden mukaan vaihtelee hyvinkin paljon. Biologiselle denitrifikaatiolle otolliset olosuhteet maassa edellyttävät yleensä: suurta nitraattipitoisuutta, kenttäkapasiteetin ylittävää kosteutta (vähän happea), orgaanista hiiltä (yli 1 %) ja yli 2.7-10 °C:n lämpötilaa (Firestone, 1982; Burt 1993). Denitrifikaation on todettu olevan huomattavasti suurempaa savimaassa kuin hietamaassa (esim. Jaakkola, 1985; Deboz et al., 1990). Suurin denitrifikaatiopotentiaali oletetaan olevan muokkauskerroksessa, koska siinä on eniten nitraattityppeä ja orgaanista hiiltä. Isermann ja Henjes (1990) ovat esittäneet, että myös peltojen pohjamaassa saattaa esiintyä merkittävästi (biologista) denitrifikaatiota. Keskeistä on siis se, kuinka paljon säätöjituksella voidaan vaikuttaa erityisesti pintamaan kosteuteen.

Edellä esitettyjen tutkimustulosten ja Lapuan koealueen mittausten perusteella voidaan olettaa, että Suomen olosuhteissa säätöjituksella pystytään pienentämään loppukevään, kesän ja alkusyksyn typpihuuhtoumia. Sulannan aiheuttamiin huuhtoumiin säädöllä ei voida juuri vaikuttaa, koska kevättyöt vaativat tehokkaan kuivatuksen. Kylvötöiden jälkeen peltoon varastoituva vesi haihtuu tehokkaasti kasvuston kautta tai suotautuu hitaasti syvempiin maakerroksiin. Kasvukaudella valunta on keskimäärin pientä ja se tapahtuu pääasiassa salaojien kautta. Kesän rankkasateet saattavat kuitenkin aiheuttaa huomattavaa typen huuhtoumista, koska vesien ravinnepitoisuudet ovat korkeita lannoituksesta johtuen (esim. Bengtson et al., 1995; Paasonen-Kivekäs et al., 1996). Esimerkiksi savipellolla (TKK:n koealue, Kirkkonummi) toukokuussa 1995 salaojien kautta tullut typpihuuhtouma muodosti noin 65 % vuoden kokonaiskuormituksesta, kun rankkasateet sattuvat heti lannoituksen jälkeen (Kankaanranta, 1996). Myös alkusyksyn typpipitoisuudet ovat usein korkeita orgaanisen aineksen mineralisaatiosta, syyslannoituksesta tai karjanlannan levityksestä johtuen. Kuivan kesän jälkeen maahan voi jäädä myös suuri määrä lannoitettyä, joka huuhtoutuu herkästi (Russell et al., 1998).



Syksyllä valunta ei todennäköisesti vähene lisääntyneen haihdunnan vuoksi, mutta hidas pohjavesivalunta saattaa pienentää salaajavalunnan määrää. Tällöin säätöojituksella voidaan ennen kaikkea vaikuttaa kuormituksen ajankohtaan.

Säätöojituksen vaikutusta typpipitoisuuksiin ei pystytty arvioimaan Lapuan tuloksista, koska koealueiden erilainen happamuus vaikutti myös pitoisuuksiin. Edellä esitetyissä tutkimuksissa säätö-ohitus pienensi vähän nitraattitypen pitoisuuksia, mutta kokonaistypen pitoisuuksiin sillä ei ollut vaikutusta. Tämän perusteella voidaan olettaa, että säätöojituksen vaikutus myös Suomessa perustuu ennen kaikkea valunnan pienemiseen ja ja/tai sen siirtämiseen sellaiseen ajankohtaan, jolloin kuormituksesta on vähemmän haittaa vesistölle. Tällöin ratkaisevaa on riittävä varastotilavuus pellossa ennen sateiden alkamista. Ahosen (1991) mallilaskemien mukaan typen huuhtouma säätö-ohituksessa riippui suuresti lähtötilanteen pohjaveden pinnan syvyydestä. Myös ojavälillä ja ojitusyvytydellä on luonnollisesti suuri merkitys valunnan määrään. Ojavälin tai syvyyden kasvaessa huuhtoumat yleensä suurenevät (Ahonen 1991; Skaggs ja Breve, 1994; Gordon et al., 1998).

Salaajakastelun koealueella Tyrnävällä osa sulamisvesistä varastoitiin altaaseen, minkä vuoksi huuhtouma jokeen väheni. Altaasta vesi pumpattiin takaisin pellolle. Mutta osa kasteluviedestä virtasi takaisin altaaseen, koska pohjaveden pinta pyrittiin pitämään tietyllä syvyydellä koko kasvukauden. Kriittinen ajanjakso vesistön kannalta oli kesän rankkasateet esimerkiksi Kesä-heinäkuussa 1996, koska pintamaassa olevat lannoitteet huuhtoutuivat sadeveden mukana syvemmälle maaperään ja edelleen salaajien kautta pois pellolta. Korkea pohjaveden pinta kasvukauden lopulla aiheutti myös huuhtoumariskin, koska pellossa oli vähän varastotilavuutta syysateita varten. Toisaalta varastoallas toimi puskurina näitä kuormituspiikkejä vastaan. Tyrnävän tulokset ovat pitkälti samanlaisia kuin em. Kanadassa saadut tulokset (Mejia ja Madramootoo, 1998; Tan et al., 1998). Menetelmä todennäköisesti lisää kasvukauden ja alkusyksyn valuntaa, mutta sen vaikutus typen huuhtoutumiseen riippuu paljon sademäärästä. Jos sadanta on pieni, niin valumavesien pitoisuudet pysyvät alhaisina, sillä kasteluvesi laimentaa niitä tehokkaasti. Ennen sateita pohjaveden pintaa on laskettava, jotta vettä voidaan varastoida pellolle ja siten estää ravinteiden huuhtoutuminen juuristokerroksesta. Jos kastelu toteutetaan ilman allasta, niin läpivirtaus ojaostossa olisi estettävä säätelämällä tarkasti kasteluvieden määrää.

Tyrnävällä salaojakastelu lisäsi huomattavasti satoa kaikkina koevuosina, mutta perunasadon typpimäärissä ei ollut niin selvää eroa. Kaste-  
lun vaikutus kasvuston typpimäärään vaihtelee todennäköisesti viljely-  
kasvin ja säätilan mukaan. Salaojakastelu pienensi huomattavasti maaperän  
nitraatti-typen määrään vuonna 1996, mutta vuosina 1994 ja 1995 koe-  
alueiden välillä ei havaittu systemaattisia eroja. Syynä tähän oli todennä-  
köisesti kesän 1996 rankkasateet, joiden seurauksena lannoitetta huuhtoutui  
salaojien kautta. Myös denitrifikaatiolla voi olla merkitystä, koska maan  
kosteudessa oli erittäin selvät erot pitkälle syksyyn. Toisaalta pintamaan  
kosteus oli kuitenkin alle kenttä-kapasiteetin, ja pohjamaan orgaanisen hii-  
len pitoisuus vain 0.2-0.3 % (Paasonen-Kivekäs et al., 1998). Nitraattitypen  
määrään vaikuttaa myös orgaanisen aineksen mineralisaatio, joka on riip-  
puvainen maan kosteudesta. Mineralisaationopeus vähenee maan ollessa  
hyvin kuivaa tai märkää (Rankinen, 1992). Iowassa tehdyt kokeet osoitti-  
vat, että nitraattitypen määrä sadonkorjuun jälkeen oli selvästi pienempi  
suurilla padotuskorkeuksilla kuin vapaassa salaojavirtauksessa (Mirjat ja  
Kanwar, 1998). Runsassateina vuosina pitoisuudet olivat alhaisimmat joh-  
tuen nitraatin huuhtoutumisesta salaojien kautta ja pintavalunnan mukana.

Pelloilta tulevaan salaojavaluntaan ja siten typpihuuhtoumiin vaikut-  
tavat sademäärä, pohjaveden pinnan syvyys ja säätötoimenpiteet. Koska  
sademäärä ja sen ajallinen jakautuminen vaihtelevat hyvinkin paljon eri vuo-  
sina, vaihtelevat myös säätötoimenpiteet. Salaojakastelun säätö perustuu  
ensisijaisesti kasvin vesitalouteen, joka vaihtelee kasvun eri vaiheissa (esim.  
Wikman et al., 1996). Korkea pohjaveden pinta saattaa aiheuttaa sekä hapen-  
puutetta kasveille että huuhtoumia vesistöön rankkasateiden yhteydessä.  
Kasvukauden lopussa pohjaveden pinnan pitäisi olla mahdollisimman sy-  
väällä, jotta maaperään syntyy varastotilavuutta syysvaluntaa varten. Kun  
salaojakastelun yhteydessä on kuivatusvesien varastoallas kuten Tyrnäväl-  
lä, voidaan huuhtoumat suoraan vesistöön estää tai pienentää niitä. Ohja-  
uksessa joudutaan toisinaan tinkimään kasvuston vedensaannista, jos ve-  
sistö-kuormituksen vähentäminen on ensisijainen kriteeri (esim. Skaggs ja  
Breve, 1994; Brown et al., 1998). Säätötoimenpiteet määräytyvät siis pai-  
kallisten olosuhteiden mukaan ja perustuvat pohjaveden pinnan syvyyden  
seurantaan ja sadantaennusteisiin.

Säätötoimenpiteissä on otettava huomioon myös kuormituksen ajan-  
kohdan merkitys purkuvesistön tilaan. Säädön toiminnan kannalta tärkeää  
on riittävät säätörakenteet niin, että pellon varastotilaa voidaan käyttää  
hyväksi. Tällöin kyseeseen tulee myös valtaojien padottaminen, jolloin  
alivirtaamakaudella valunta pienenee ja ravinnepitoisuudet mahdollisesti  
alenevat viipymän lisääntyessä.

## Yhteenveto

Pellon vesitalouden säätö käsittää salaojituksen, säätöojituksen ja salaojakastelun. Useissa tutkimuksissa salaojituksen on todettu lisänneen typen huuhtoutumista maaperästä vesistöihin. Säätö-ojituksella voidaan pienentää salaojituksen kuivatustehokkuutta, minkä seurauksena vettä ja ravinteita pidättyy peltolalueelle. Salaojakastelussa vettä pumpataan ojaan, jolloin kasvien vesitalous paranee ja satotaso kasvaa normaaliin salaojituksen ja säätöojituksen verrattuna. Säätöojituksen ja salaojakastelun vaikutus typpikuormitukseen riippuu pellon ominaisuuksista, ojituksista, säätilasta ja säätötoimenpiteistä. Nykyisten tutkimusten mukaan typpihuuhtoumien väheneminen säätöojituksessa johtuu lähinnä pienentyneestä valunnasta. Nitraattitypen pitoisuuksien on todettu myös laskeneen, mutta säädöllä ei kuitenkaan ole ollut merkitystä kokonaistypen pitoisuuksiin. Toisaalta tietyissä sää- ja padotusolosuhteissa säätöojitus saattaa jopa lisätä typen huuhtoutumista perinteelliseen salaojituksen verrattuna. Erityisesti salaojakastelu voi lisätä kasvukauden ja alkusyksyn valuntaa, koska varastotilavuutta on vähän korkeasta pohjaveden pinnasta johtuen. Valumavesien typpipitoisuudet saattavat kuitenkin olla suhteellisen pieniä, jolloin kuormitus jää jopa alle normaaliojituksen arvon. Suuri huuhtoumariski syntyy kesän rankkasateiden yhteydessä, kun lannoitteet juuristokerroksesta kulkeutuvat salaojiin.

Suomen olosuhteissa hyvin toteutetulla ja hoidetulla säätöojituksella voidaan pienentää kasvukauden ja syksyn huuhtoumia varsinkin kuivan kesän jälkeen. Säätöojituksella voidaan myös siirtää kuormituksen ajankohtaa niin, että se on mahdollisimman haitaton vesistölle, vaikka itse kuormitus ei vähenisi. Kesän huuhtoumat ovat keskimäärin pieniä, mutta em. rankkasateiden jälkeiset kuormituspiikit voivat muodostaa huomattava osan vuotuisesta kuormituksesta. Säädön merkityksen vesiensuojelussa ratkaisee se, kuinka paljon em. kuormitusten vähentäminen ja/tai kuormituksen ajankohdan siirtäminen vaikuttavat purkuvesistön tilaan.

Viljelijän aktiivisuus pohjaveden pinnan syvyyden ja säätilan seurannassa sekä säätötoimissa on tärkeää, mutta myös paikallisten sääennusteiden saatavuus ja luotettavuus. Säädön toiminnan kannalta on ratkaisevaa myös tehokkaat säätörakenteet, jotta peltoon syntyy mahdollisimman paljon varastotilavuutta. Tällöin kyseeseen tulee myös valtaojien padottaminen, jolloin alivirtaamakaudella valunta vesistöihin vähenee ja/tai veden viipymää kasvaa, joka mahdollisesti pienentää ravinnepitoisuuksia. Salaojakastelussa varastoaltaalla voidaan estää kesän ja alkusyksyn huuhtoumia suoraan vesistöihin.

Suomessa säättöojitukseen soveltuvaa peltomaata, joka täyttää nykyiset EU:n ympäristötuen eritystuen ehdot (hietamaa, pinnan kaltevuus alle 2 %), on noin 800 000 ha. Säättöojitushakemuksia vuonna 1997 oli tehty noin 13 000 peltohehtaarille, josta valtaosa oli Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Oulun maaseutukeskuksissa. Salaojakastelu vaatii huomattavia investointeja ja se on kannattavaa vain kasveilla, joista saadaan suuri hehtaarisato kuten perunalla (Mattila et al., 1996). Kastelulla voidaan myös vaikuttaa perunasadon laatuun (Ahonen, 1991; Wikman et al., 1996). Koska menetelmien vaikutukset ravinteiden huuhtoutumiseen ja satotasoon riippuvat paikallisista olosuhteista, ei Lapuan ja Tyrnävän tuloksia voida suoraan yleistää muille peltoalueille. Tämän vuoksi säättömenetelmien toimintaa olisi seurattava erityyppisissä maalajeissa ja ojituksissa. Huuhtoumien tarkka arviointi edellyttää sekä valunnan että valumavesien pitoisuuksien mittausta, jota em. koealueilla ei pystytty tekemään. Kokeellisen tutkimuksen ohella pellon vesitalouden säädön merkitystä voidaan tutkia myös matemaattisilla malleilla (Ahonen 1991; Karvonen ja Peltomaa, 1994; Skaggs ja Breve, 1994). Tässä tutkimusprojektissa malleja käytetään hyväksi Lapuan ja Tyrnävän ojitusten tarkastelussa ja säättötoimenpiteiden suunnittelussa.

## Kirjallisuus

**Ahonen, J. 1991.** Pohjavesikastelun ja säätöojituksen käyttö ja soveltuvuus Suomessa. Diplomityö, TKK, maanmittaus- ja rakennustekniikan osasto, vesitalous. 63 s.

**Barkle, G.F., Brown, T.N., Singleton, P.L., Selvarajah, N. & Painter, D.J. 1998.** Impact of controlled drainage on nitrogen leaching and solute behaviour. Drainage in the 21<sup>st</sup> Century: Food Production and the Environment. Proc. of the Seventh Int. Drainage Symposium. ASAE Vol. 7, 02-98: 637-647.

**Bendoricchio, G., Bixio, V. & Giardini, L. 1994.** A controlled drainage demonstration project in Italy. Prod. of the 3<sup>rd</sup> Congress European Soc. of Agronomy, Adano-Padova, Italy, Sep 18-22, 1994: 768-769.

**Bengtson, R.L., Carter, C.E., Fouss, J.L., Southwick, L.M. & Willis, G.H. 1995.** Agricultural Drainage and Water Quality in Mississippi Delta. J. Irrigation and Drainage Eng., Vol. 121, No. 4: 292-295.

**Brink, N. 1984.** Faktorer som påverkar växtnäringens förluster i åkermark. Jordbrukets förening av vattenmiljön. Nordforsk. Mijövärdsserien, publikation 1984:2: 79-88.

**Brown, L.C., Hothem, J.A., Jiang, Z., Coltman, K.M., Fausey, N.R. & Nutor, J.R. 1998.** Water Table Management Strategy Effects on Solute Transport in Soil Columns. Drainage in the 21<sup>st</sup> Century: Food Production and the Environment. Proc. of the Seventh Int. Drainage Symposium. ASAE Vol. 7, 02-98: 387-399.

**Burt, T.P., Heathwaite, A. & Trudgill, S.T. (toim.) 1993.** Nitrate, Processes, Patterns and Management. Wiley.

**Chevallier, C. & Turpaud, Y. 1996.** Drainage controle et qualite d'eau en sol sodique (Controlled drainage and water quality in sodic soil). Proc. of the 6<sup>th</sup> Drainage Workshop on drainage and Environment. ICID. Ljubljana, Slovenia, April 21-29, 1996: 105-112.

**Debosz, K., Djuurhus, J., Maag, M. & Lind, A-M. 1991.** Studies of N-transformation in Arable Soils. N-mineralization, denitrification and leaching. Teoksessa: Nitrogen and Phosphorus in Soil and Air. A-abstracts. Project Abstracts of the Danish NPo Research Program 1985-1990. Number A8. Ministry of Environment: 149-165.

**Ekholm, P. 1998.** Maatalouden ravinnekuorman vaikutukset vesissä. Agro-food '98. Posterinäyttely.

**Elm, A. A., Egeh, M.H., Madramootoo, C.A. & Hamel, C. 1998.** Water table and N-fertilizer rate management effects on water quality. Drainage in the 21<sup>st</sup> Century: Food Production and the Environment. Proc. of the Seventh Int. Drainage Symposium. ASAE Vol. 7, 02-98: 380-386.

**Evans, R.O., Skaggs, W. & Gilliam, J.W. 1995.** Controlled versus Conventional Drainage Effects on Water Quality. *J. Irrigation and Drainage Eng.*, Vol. 121, No. 4: 271-276.

**Firestone, M.K. 1982.** Biological denitrification. Teoksessa: Stevenson, F.J. (toim.): Nitrogen in Agricultural Soils. *Agronomy No. 22.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin: 289-318.

**Hofman, G., Verstegen, P., Demyttenaere, P., van Meirvenne, M., Delanote, P. & Ampe, G. 1993.** Comparison of row and broadcast N application on N efficiency and yield of potatoes. Teoksessa: Fragoso, M. & van Beusichem, M. (eds.): *Optimization of Plant Nutrition.* Kluwer. 359-365.

**Isermann, K. & Henjes, G. 1990.** Potential of Biological Denitrification in the (Un-)saturated Zone with Different Soil Management. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 60: 271-276.

**Jaakkola, A. 1985.** Denitrifikaatio viljapellostä ja nurmesta mitattuna asetyyleeni-inhibitio-menetelmällä. Julkaisussa: Lannoite- ja kasviainetyypen hyväksikäyttö ja typen häviö. Biologisen typensidonnän ja hyväksikäytön projekti, Julkaisuja 13: 75-108.

**Jürgens-Geschwind, S. 1989.** Ground water nitrate in other developed countries (Europe) - Relationships to land use patterns. Teoksessa: Follett, R.F. (ed.): *Nitrogen management and ground water protection.* Elsevier: 75-138.

**Kankaanranta, J. 1996.** Valunta ja ravinnehuuhtoumat savimaassa. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 21: 38-52.

**Kanwar, R.S., Melvin, S.W., Kalita, P.K. & Mirjat, M.S. 1996.** Water table management effects on NO<sub>3</sub>-N and atrazine leaching to groundwater. Proc. of the 6<sup>th</sup> Drainage Workshop on Drainage and Environment. ICID. Ljubljana, Slovenia, April 21-29, 1996: 23-30.

**Karvonen, T. & Peltomaa, R. 1994.** Testing a Simulation Model Aimed at Predicting the Environmental Impacts of Subirrigation and Controlled Drainage. Teoksessa: Belcher, H.W. & D'Itri, F.M.: *Subirrigation and controlled drainage.* Proceeding of the International Conference on Subirrigation and Controlled Drainage, Michingan, August 12-14, 1991, pp. 269-280. Lewis.

**Kleemola, J. & Teittinen, M. 1996.** Satotuloksia säättöjituksen ja padotuskastelun koekentiltä 1994-1995. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 21: 12-19.

**Madramootoo, C.A., Dodds, G.T. & Papadopoulos, A. 1993.** Agronomic and environmental benefits of water-table management. *J. Irrigation and Drainage Eng.*, Vol. 119, No. 6: 1052-1065.

**Mattila, T., Paasonen-Kivekäs, M., Teittinen, M. & Kleemola, J. 1996.** Säättöjituksen ja padotuskastelun taloudellinen kannattavuus. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 21: 29-37.

**Mejia, M.N. & Madramootoo, C.A. 1998.** Improved Water Quality through Water Table Management in Eastern Canada. *J. Irrigation and Drainage*, Vol. 124, No. 2: 116-122.

**Mirjat, M.S. & Kanwar, R.S. 1998.** Transport of  $\text{NO}_3\text{-N}$  into Groundwater as Affected by Water Table Management. *Drainage in the 21<sup>st</sup> Century: Food Production and the Environment. Proc. of the Seventh Int. Drainage Symposium. ASAE Vol. 7, 02-98: 649-666.*

**Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen, T., Sepahi, N. 1996.** Valumavesien kierrätys ja padotuskastelu Tyrnävän koealueella. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 21: 20-28.

**Paasonen-Kivekäs, M., Teittinen, M., Kleemola, J. & Karvonen, T. 1996.** Water table management in crop production - Case studies in Finland. *Proc. of the 6<sup>th</sup> Drainage Workshop on Drainage and Environment. ICID. Ljubljana, Slovenia, 21-29.4.1996: 583-588.*

**Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen, T. & Vakkilainen, P. 1997.** Säättöjitus Lapuan koealueella - mittausjärjestelyt ja -aineisto. Vesitalouden laboratorion monistesarja 1997:3, Teknillinen korkeakoulu, Otoniemi.

**Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen, T., Vakkilainen, P., Teittinen, M. & Kleemola, J. 1998.** Potential of water table management for abatement of nitrogen load. *Drainage in the 21<sup>st</sup> Century: Food Production and the Environment. Proc. of the Seventh Int. Drainage Symposium. ASAE Vol. 7, 02-98: 53-60.*

**Randall, G.W. 1998.** Implications of Dry and Wet Cycles on Nitrate Loss to Subsurface Tile Drainage. *Drainage in the 21<sup>st</sup> Century: Food Production and the Environment. Proc. of the Seventh Int. Drainage Symposium. ASAE Vol. 7, 02-98: 53-60.*

**Rankinen, K. 1992.** Kosteuden vaikutus typen mineralisaatioon maaperässä. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. Otoniemi.

**Rekolainen, S. 1989.** Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. *Aqua Fennica 19,2: 95-107.*

- Rekolainen, S., Pitkänen, H., Bleeker, A. & Sieste, F. 1995.** Nitrogen and Phosphorus Fluxes from Finnish Agricultural Areas to the Baltic Sea. *Nordic Hydrology*, 26, 1995: 55-72.
- Skaggs, R.W. & Breve, M. 1994.** Environmental Impacts of Water Table Control. Teoksessa: Belcher, H.W. & D'Itri, F.M.: Subirrigation and controlled drainage. Proceeding of the International Conference on Subirrigation and Controlled Drainage, Michingan, August 12-14, 1991, pp. 247-267. Lewis.
- Tan, C.S., Drury, C.F., Soultani, M., van Weesenbeck, I.J., Ng, H.Y.F., Gaynor, J.D. & Welacky, T.W. 1998.** Controlled Drainage and Subirrigation Effects on Crop Yields and Water Quality. Drainage in the 21<sup>st</sup> Century: Food Production and the Environment. Proc. of the Seventh Int. Drainage Symposium. ASAE Vol. 7, 02-98: 676-683.
- Taskinen, A. & Paasonen-Kivekäs, M. 1996.** Säättöojitus Lapuan koealueella. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 21: 6-11.
- Teittinen, M. & Paasonen-Kivekäs, M. 1996.** The use of water table management to increase yields. 2<sup>nd</sup> Int. Crop Science Congress, Crop Productivity and sustainability - shaping the future. Nov 17-24 1996. New Delhi, India: 398.
- Valpasvuo-Jaatinen, P., Rekolainen, P. & Latostenmaa, H. 1997.** Finnish Agriculture and its Sustainability: Environmental Impacts. *Ambio* vol. 26, No. 7: 448-455.
- Wikman, U., Torttila, A., Virtanen, A. & Kuisma, P. 1996. Perunan vesitalous ja sadetus. Perunantutkimuslaitoksen julkaisuja 3/1996. Perunantutkimuslaitos.
- Willis, G.H., Southwick, L.M. & Fouss, J.L. 1998.** Nitrates in Runoff and Leachate from Controlled-Water-Table Plots on a Mississippi River Alluvial Soil. Drainage in the 21<sup>st</sup> Century: Food Production and the Environment. Proc. of the Seventh Int. Drainage Symposium. ASAE Vol. 7, 02-98: 559-566.
- Ympäristöministeriö, 1998.** Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005.



# Kontaktiajan vaikutus maanesteen liukoisen fosforin pitoisuuteen pohjamaassa – alustavia tuloksia vuodelta 1997

*MMM Tommi Peltovuori, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, Helsingin yliopisto*

## Johdanto

Pelloilta vesistöön pintavaluntana ja salaojavaluntana kulkeutuvan veden liukoisen fosforin pitoisuutta säätelevät veteen liunneen fosforin (P) reaktiot veden kanssa kosketuksissa olevan maa-aineksen kanssa. Merkittävin liukoisen fosforin pitoisuutta säätelevä tekijä pelto-oloissa on fosfaatti-ionien ( $\text{PO}_4^-$ ) sorptio maassa oleville sorptiopinnoille. Raudan ja alumiinin oksidit ovat normaalisti tärkeimpiä maassa esiintyviä fosforin sorptiopintoja (Barrow 1989), ja pidättyminen on yleensä sitä voimakkaampaa, mitä enemmän maassa on sorptiopintoja ja mitä vähemmän näillä pinnoilla on ennestään pidättyntä fosforia. Salaojavalunnan liukoisen fosforin pitoisuus on yleensä alhaisempi kuin pintavaluntavesien (esim. Turtola 1996, Turtola ja Paajanen 1995). Tämä johtuu siitä, että fosforilannoitus on kohottanut pintamaiden fosforipitoisuutta ja samalla alentanut niiden fosforinsitomiskapasiteettia täyttämällä sorptiopintoja. Tällaisen maan kanssa kosketuksissa olevan veden fosforipitoisuus on yleensä luonnonvesiin verrattuna korkea. Syvällä olevissa maakerroksissa fosforia on päinvastoin vähän, oksidien kyky sitoa fosforia on suuri ja maanesteen fosforipitoisuus on pieni (Rekolainen ym. 1992).

Maan kykyä pidättää tai vapauttaa fosforia voidaan tutkia laboratoriossa antamalla tutkittavan maanäytteen reagoida fosforiliuoksen kanssa ja mittaamalla, millaisen pitoisuuden näyte aiheuttaa liuokseen. Kentäkokeiden tuloksia tarkasteltaessa on havaittu, että salaojaveden liukoisen fosforin pitoisuus on usein korkeampi kuin syvistä maakerroksista otettujen maanäytteiden perusteella voisi päätellä. Todennäköinen syy ilmiölle on se, että vesi virtaa maan pinnalta salaojiin niin nopeasti, ettei siinä oleva liukoinen fosfori ehdi saavuttaa tasapainoa maassa olevien fosforia pidättävien komponenttien kanssa tai maan rakenteesta johtuen se pääsee kosketuksiin tois-  
tuvasti vain rajoitetun maatilavuuden kanssa.

Valumaveden virratessa salaojiin nopeasti ns. preferenssivirtauskanavia pitkin molemmat tekijät rajoittanevat liukoisen fosforin tehokasta pidättymistä maahan. Savimaalla preferenssivirtaukset ovat yleisiä halkeamissa, lieronrei'issä ja vanhoissa juurikanavissa.

Pelloilta huuhtoutuvasta fosforista valtaosa (n. 75 %) huuhtoutuu vesistöihin kiintoainekseen pidättyneenä. Vesistössä noin 5 % kiintoaineksen fosforista vapautuu liukoiseen, rehevöitymistä aiheuttavaan muotoon ja osa sedimentoituu kiintoaineksen mukana vesistön pohjaan. Noin 25 % huuhtoutuvasta kokonaisfosforista huuhtoutuu liukoisena ja leville käyttökelpoisena fosfaattifosforina, joten maatalouden aiheuttamasta kokonaisfosforikuormituksesta yhteensä noin 30 % on välittömästi vesistöjä rehevöittävää (Rekolainen ym. 1992). Liukoinen fosfaattifosfori voi osallistua sorptioreaktioihin ja näiden reaktioiden tunteminen onkin tärkeää pyrittäessä hallitsemaan välittömästi rehevöitymistä aiheuttavan fosforin huuhtoutumista. Salaojavaluntaa tarkasteltaessa liukoisen fosforin tutkimisen merkitys korostuu, sillä vaikka peltoviljelyn kokonaisfosforikuormituksesta vain noin kolmasosa aiheutuu salaojavalunnasta, on liukoisen fosforin osuus kokonaisfosforista salaojavalunnassa suurempi kuin pintavalunnassa (Turtola ja Jaakkola 1987).

Helsingin yliopiston Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos osallistuu Maa- ja metsätalousministeriön sekä Salaojituksen tukisäätiön rahoittamaan tutkimukseen, jossa tutkitaan mahdollisuuksia vaikuttaa viljelyn aiheuttamaan vesistökuormitukseen pellon vesitaloutta säättämällä. Laitoksella tutkitaan erityisesti sorptiota salaojiin valuvan veden liukoisen fosforin pitoisuuden säätelijänä eri olosuhteissa. Tutkimus on aloitettu tässä artikkelissa kuvatulla padotuskokeella, jossa pyrittiin selvittämään sorptioajan ja maan luonnollisen rakenteen merkitystä fosforin pidättymiseen pohjamaahan eri lämpötiloissa.

## Menetelmät ja aineisto

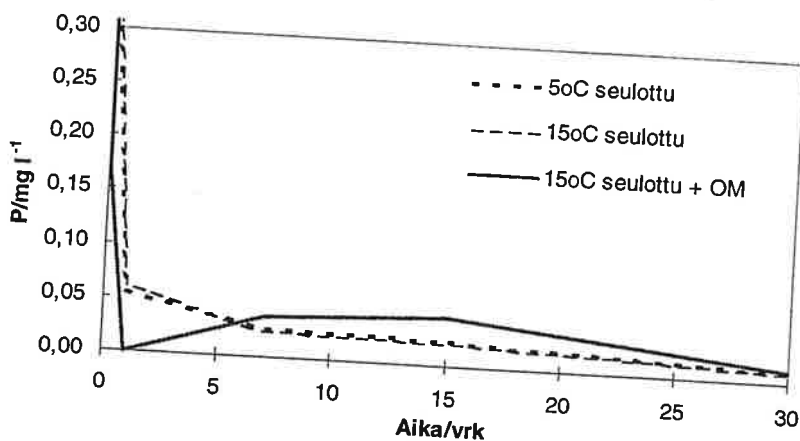
Pohjamaan kykyä pidättää liukoisessa muodossa olevaa fosforia tutkittiin padotuskokeessa. Kokeen maanäytteet otettiin MTT:n Kotkanojan huuhtoutumiskentän vierestä 30-55 cm syvyydeltä. Näytteenotto paikalla kasvaa pysyvä nurmi, mutta itse huuhtoutumiskenttä on ollut jatkuvassa viljelyssä. Viljelyhistorian erojen ei kuitenkaan ajateltu vaikuttavan merkittävästi tutkittaviin maan ominaisuuksiin näin syvältä otetuissa näytteissä. Huuhtoutumiskentän rakenne on esitetty mm. Turtolan ja Paajasen (1995) julkaisussa. Kokeessa käytettiin sekä häiriintymättömiä maanäytteitä että seulottua ja homogenisoitua maata.

Tällä pyrittiin tutkimaan maan luontaisen rakenteen vaikutusta sen fosforinsitomiskykyyn. Häiriintymättömät näytteet ja vastaavaan geometriaan pakatut häiriintyneet näytteet kyllästettiin kahdessa lämpötilassa (+5 °C ja +15 °C) fosforiliuoksella (fosforilisäys 9,4 mg kg<sup>-1</sup> maata), ja seurattiin maassa ja maan kanssa tasapainotumassa olevassa liuoksessa tapahtuvia muutoksia 30 vrk:n ajan. Osaan näytteistä sekoitettiin helposti hajoavaa orgaanista ainesta, jotta saataisiin käsitys voimakkaan mikrobiaktiivisuuden aiheuttaman alhaisen redox-potentiaalin vaikutuksesta fosforin sorptiopintoina toimivien oksidien kestävyYTEEN. Koe toteutettiin siten, että halutun tasapainotusajan jälkeen kyllästysvesi valutettiin maasta pois, vesi suodatettiin ja vedestä sekä maasta tehtiin seuraavat analyysit: Padotusvedestä seurattiin liukoisen fosforin (PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) pitoisuutta, pH:ta ja liukoisen raudan (Fe<sup>2+</sup>) sekä mangaanin (Mn<sup>2+</sup>) pitoisuutta. Maista seurattiin redox-potentiaalin muutoksia, pidättyneen fosforin desorboituvuutta sekä lämpötilaa.

## Tulokset ja niiden tarkastelu

Häiriintymättömien näytteiden erittäin pienen huokostilavuuden ja heikon vedenjohtokyvyn vuoksi padotusveden fosforipitoisuus saatiin mitattua vain kahdesta näytteestä. Näissä näytteissä pitoisuus oli 0,37 (tasapainotusaika 7 vrk) ja 2,4 mg l<sup>-1</sup> (tasapainotusaika 30 vrk). Kahden onnistuneen mittauksen perusteella ei juuri voi vetää johtopäätöksiä savimaan luonnollisen rakenteen vaikutuksesta maan fosforinpidätysominaisuuksiin. Tuloksesta voi kuitenkin epäsuorasti päätellä salaojiin kulkeutuvan veden joutuvan pohjamaassa kosketukseen vain erittäin pienen maatilavuuden kanssa. Kokeen 24:stä häiriintymättömästä näytteestä vain kahdessa vesi läpäisi näytteen, vaikka näytteenottoaika oli ollut pitkään nurmella. Tällaisessa maassa voisi olettaa, että maan rakenne ja vedenjohtokyky on hyvä ja maan fosforia pidättävä pinta-ala on suuri myös näytteenottosyvyydessä. Kotkanojan huuhtoutumiskentän valunnasta keskimäärin puolet tapahtuu kuitenkin salaojien kautta (Turtola 1996). Todennäköisesti suurin osa koe-kentän salaojavalunnasta kulkeutuukin huuhtoutumiskentällä salaojiin pohjamaan huonon vedenjohtokyvyn vuoksi salaojakavantojen kohdalta (Turtola ja Paaajanen 1995), jolloin salaojien täyttömateriaalilla on suuri merkitys salaojavesien fosforipitoisuuteen. Kotkanojan huuhtoutumiskentän muokkauskerroksen fosforipitoisuus on alhainen ja fosforinsitomiskyky korkea. Tästä syystä jopa pintamaalla täytetty salaojakavanto pidättää salaojiin kulkeutuvan veden liukoista fosforia melko tehokkaasti.

Seulotuista ja homogenisoiduista näytteistä saadun padotusveden fosforipitoisuus oli jo vuorokauden tasapainotuksen jälkeen huomattavasti pienempi kuin mainituissa kahdessa häiriintymättömässä näytteessä (Kuva 1). Tulos viittaa siihen, että fosforin päästessä kontaktiin suuren maapinta-alan kanssa sorptio on paljon tehokkaampaa kuin häiriintymättömän näytteen rajallisen pidättävän pinta-alan omaavissa huokosissa. Tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin otettava huomioon se, että häiriintymättömiin koejäseniin lisätty nestemäärä oli näytteiden pienen huokoskapasiteetin vuoksi pienempi ja fosforipitoisuus vastaavasti suurempi kuin seulotuissa koejäsenissä.



**Kuva 1.** Padotuskokeen seulottujen ja homogenisoitujen maanäytteiden kanssa kontaktissa olleen veden fosforipitoisuus ( $\text{mg l}^{-1}$ ) ajan funktiona kahdessa eri lämpötilassa. Maihin lisätty liuos sisälsi fosforia  $10 \text{ mg l}^{-1}$ . Koejäseneseen  $15 \text{ }^\circ\text{C} + \text{OM}$  lisättiin fosforin lisäksi kokeen alussa helposti hajoavaa orgaanista ainesta  $10 \text{ g kg}^{-1}$ .

Fosforin sorptio oli seulotuissa ja homogenisoiduissa koejäsenissä erittäin nopeaa. Kaikissa koejäsenissä padotusveden fosforipitoisuus oli alentunut alle sadasosaan lisäysliuoksen pitoisuudesta vuorokauden kuluttua kokeen aloituksesta, eikä liuoksen fosforipitoisuus ollut seitsemän vuorokauden kuluttua missään koejäsenessä yli  $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ . Kotkanojan huuhtoutumiskentän salaojavalunnan liukoisen fosforin pitoisuus oli alkusyksyllä 1997 alustavien tulosten mukaan keskimäärin  $0,04 \text{ mg l}^{-1}$  vaihtelun ollessa  $0,02-0,12 \text{ mg l}^{-1}$ . Myös aikaisemmissa mittauksissa kentän salaojavalunnan fosforipitoisuus on ollut samaa suuruusluokkaa (Turtola ja Jaakkola 1987, Turtola ja Paajanen 1995). Padotuskokeen tulokset ovat siis hyvin sopusoinnussa kentällä saatuihin havaintoihin verrattuna. Mikäli kenttämittauksissa havaitut satunnaiset suuret pitoisuudet liittyvät runsaaseen valuntaan, on hyvin todennäköistä, että tällöin sorptiotasapaino maan ja salaojaveden välillä on jäänyt saavuttamatta.

Orgaanista ainesta saaneissa koejäsenissä lisätty liukoinen fosfori hävisi kokonaan liuoksesta vuorokauden kuluessa. Pidättymättä jäänyt fosfori sitoutui todennäköisesti orgaanista ainesta hajottavaan mikrobimassaan. Runsaan mikrobitoiminnan aiheuttama redox-potentiaalin aleneminen aiheutti mangaani- ja rautaoksidien hajoamista: padotusveteen ilmaantui liukoista mangaania jo vuorokauden ja rautaa viikon kuluttua kokeen aloittamisesta. Sorptiopintojen hajoaminen aiheutti aluksi padotusveden fosforipitoisuuden kohoamisen, mutta kokeen edetessä padotusveteen vapautunut fosfori pidiäytyi ilmeisesti uudelleen muilla mekanismeilla, sillä 30 vuorokauden kuluttua aloituksesta kaikkien seulottujen ja homogenisoitujen koejäsenen padotusveden fosforipitoisuus oli lähes samanlainen (Kuva 1). Vaikka laboratoriossa saatiinkin näin keinotekoisesti aikaan sorptiokomponenttien hajoaminen ja fosforin vapautuminen, ilmiö tuskin voi lisätä fosforin huuhtoutumista kenttäoloissa esim. säätösalojituksen yhteydessä. Tässäkin kokeessa maan redox-potentiaali aleni vain hieman kyllästyneissä maissa, joihin ei lisätty orgaanista ainesta, ja häiriintymättömissä näytteissä redox-potentiaalin aleneminen havaittiin vain yhdessä koeastiassa 15 vrk:n kyllästystilan jälkeen.

Lämpötilalla oli tässä kokeessa melko vähän vaikutusta sorptionopeuteen. Sorptio oli kuitenkin aavistuksen nopeampaa  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ :ssa kuin  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ :ssa. Tätä havaintoa tukee se, että  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilassa padotetuista maista pidättyneen fosforin desorptio oli padotuksen jälkeen hieman heikompi kuin  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ :ssa padotetuista maista. Liukoisen fosforin huuhtoutumista salaojien kautta tapahtuu yleensä vain keväällä ja syksyllä, jolloin maan lämpötila on lähempänä  $+5$  kuin  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ :tta. Alhaisen lämpötilan voidaan siis tämän kokeen perusteella katsoa suosivan fosforin pidättymistä maahan.

## Johtopäätökset ja jatkotutkimukset

Pintavalunta aiheuttaa suuremman riskin fosforin huuhtoutumiselle kuin salaojavalunta. Tästä syystä olisi järkevää pyrkiä ohjaamaan mahdollisimman suuri osa valunnasta pois pellolta salaojavaluntana. Salaojavaluntaa tulisi kuitenkin kontrolloida siten, että mahdollisimman suuri osa salaojavedessä olevasta fosforista pidättyy pohjamaahan myös valuntahuippujen aikana. Tämä saattaa olla mahdollista hidastamalla veden virtausta säätösalojituksen avulla. Tämän kokeen perusteella jo muutaman vuoro-kauden viipymä pohjamaassa riittää varmistamaan maan fosforinsitomiskapasiteetin tehokkaan hyödyntämisen salaojaveden fosforipitoisuuden alentamisessa, jos vesi pääsee kosketuksiin riittävän suuren maapinta-alan kanssa.

Kokeessa häiriintyneiden maanäytteiden esikäsitteilyn aikana maapartikkelien pinnoille kehittyi seulonnan ja homogenisoinnin aikana ruosteenvärisen kerros. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että pohjamaassa liukoisena ollutta kahdenarvoista rautaa hapettui maan pinnalle oksidikerrokseksi. Ilmiö lisäsi todennäköisesti koemaan sorptiokapasiteettia ja aiheutti fosforin erittäin nopean pidättymisen kokeessa. Tulevien osatutkimusten näytteenottoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä pohjamaan todellista fosforinsitomiskykyä ei kyetä ennustamaan näytteillä, joiden sorptio-ominaisuudet ovat muuttuneet näytteenoton ja analysoinnin välillä.

Tutkimusta jatketaan soveltavan kemian ja mikrobiologian laitoksella selvittämällä, millainen syvissä maakerroksissa olevien preferenssivirtauskanavien ja pohjamaan fosforinsitomiskyky on niiden luonnollisessa ympäristössä ja miten paljon preferenssivirtauskanavien seinämien fosforinsitomisoimaisuudet poikkeavat pohjamaasta keskimäärin. Näin pystytään arvioimaan tehokkaaseen sorptioon tarvittavaa aikaa maan luonnollisessa rakenteessa.

Jatkossa pohjamaiden sorptiotutkimuksessa on painotettava lyhyitä kontaktiaikoja, sillä tehdyn kokeen perusteella fosforin sorptio on huomattavan nopeaa. Lämpötilan vaikutusta fosforin sorptionopeuteen tutkitaan edelleen ja sitä laajennetaan kylmiin lämpötiloihin. Erityisesti pyritään selvittämään jäätyminen vaikutusta ilmiöön.

## **Kirjallisuusviitteet:**

**Barrow, J.** 1989. Surface reactions of phosphate in soil. *Agricultural Science* 2: 33-37.

**Rekolainen, S., Kauppi, L. & Turtola, E.** 1992. Maatalous ja veden tila. MAVEROn loppuraportti. Luonnonvarajulkaisuja 15. Luonnonvarainneuvosto, Maa- ja metsätalousministeriö. 56 s.

**Turtola, E.** 1996. Savimaan uusintasalaoituksen vaikutus fosforin ja typen huuhtoutumiseen. Salaoituksen tutkimusyhdistyksen tiedote 21: 53-59.

- **& Jaakkola, A.** 1987. Viljelykasvin vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen savimaasta Jokioisten huuhtoutumiskentällä v. 1983-1986. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 22/87. 34 s.

- **& Paajanen, A.** 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. *Agricultural Water Management* 28: 295-310.

# Pellon maaperän vaihtelu lähtökohtana huuhtoutumisherkkyyškartan laatimiselle

*Tutkimushanke: Täsmävesi / Peltoviljelynravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä*

*MMM Liisa Pesonen  
Maa- ja kotitalousteknologian laitos  
Helsingin yliopisto*

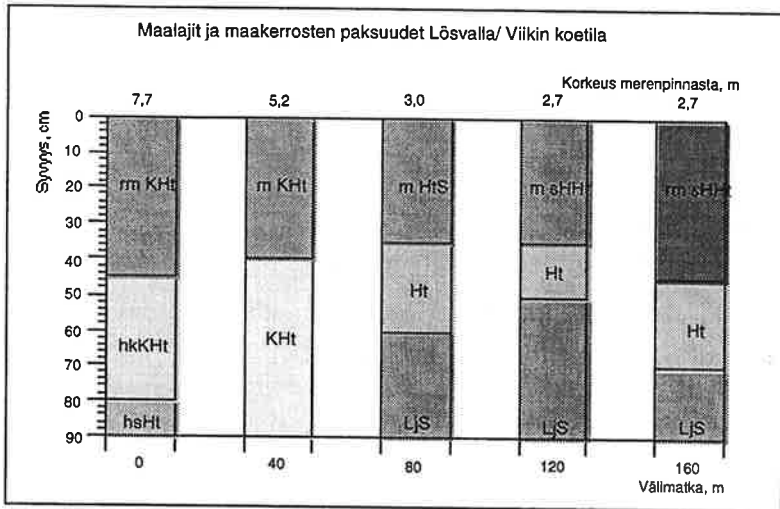
## Johdanto

Jääkausi muovasi Suomen maaperää voimakkaasti saaden aikaan maan rapautumista, lajittumista, kerrostumista ja kasautumista. Muovaus tapahtui suuressa mittakaavassa, mistä osoituksena ovat mm. harjut ja suuret savikkoalueet. Suurten alueiden sisällä esiintyy myös pienen mittakaa- van vaihtelua. Tästä syystä esimerkiksi peltolohkon sisäinen maaperän ominaisuuksien vaihtelu voi olla suurta. Jääkauden vaikutuksen lisäksi pellon maaperässä näkyvät myös ihmisen vaikutukset mm. maan tiivistyminen. Maan ominaisuudet vaihteluineen vaikuttavat merkittävästi pellon vesitalouteen.

Maaperätutkimus on tuottanut tietoa erilaisista maaperässä tapahtuvista prosesseista ja ilmiöistä, sekä ihmisen toiminnan aiheuttamista vaikutuksista maaperän niihin. Tiedetään esimerkiksi, kuinka maan vesitalous toimii karkeilla hietamailla tai savimailla, tai millaisia ongelmia maan tiivistyminen aiheuttaa maan vesitaloudelle ja sadonmuodostukselle jne. On olemassa paljon viljelytekniisiä ohjeita erilaisille viljelymaille. Niitä toteutetaan nykyisellään peltolohkokohtaisesti. Kuitenkin maaperän vaihtelu on usein pienipiirteisempää kuin peltolohkot. Yleensä viljelijät tietävät omien peltojensa suurimmat, etenkin sadonmuodostukseen vaikuttavat vaihtelut. Esimerkiksi pintamaan maalajivaihtelut ovat tuttuja. Vaikeampaa on havaita sellaisia maaperän ominaisuuksien vaihteluita, jotka ovat maan pintakerroksen alapuolisia, tai joiden vaikutus sadonmuodostukseen ei ole enää silmin havaittavaa.

Esimerkiksi vaimakkaasta maaperän vaihtelusta on esitetty kuviossa 1. Siinä on esitetty maaperän maalajien ja kerrospaksuuksien vaihtelut määritettynä 160m pitkältä linjalta Lösvallan lohkolta Viikin koetilalta. Havaintopaikat sijaitsevat linjalla 40m:n välein. Kuvion maaperä on mitattu 90cm:n syvyyteen saakka. Kuvioon on merkitty myös havaintopaikkojen maanpinnan korkeus merenpinnasta mitattuna.





**Kuvio 1.** Maaperävaihtelua Lösvallan lohkolla Viikin koetilalla, mitattuna 160m pitkältä linjalta. ( Aineisto on peräisin Maa- ja kotitalouslaitoksen Suomen Akatemian rahoittamasta Kestävän kehityksen mukainen maatalousteknologia- projektista vuodelta 1992)

Kuviosta 1 nähdään, että maaperän vaihtelua esiintyy sekä maan pinnalla että syvyyssuunnassa, hyvinkin pienillä etäisyyksillä. Vaihtelu voi olla maalajin ja multavuuden, sekä erilaisten maakerrosten paksuuksien ja tiiveyksien vaihtelua. Kuvion 1 havaintopaikat 0 ja 40 ovat erittäin hyvin vettä läpäiseviä karkeita kivennäismaita. Ravinteet huuhtoutuvat niistä helposti ja ne ovat myös hyvin roudanarkoja. Paikan 120 paikkoja 80 ja 160 ohuemmasta hietakerroksesta ja vastaavasti paksummasta liejusavikerroksesta seuraa, että paikka 120 läpäisee heikommin vettä ja on aina ympäristönsä kosteampi.

Maaperän ominaisuuksiin pohjautuvat viljelytekniset toimenpideohjeet ovat nykyisin maaperän suuresta vaihtelusta johtuen karkeasti luokiteltuja, vaikka erilaisista olosuhteista kerätyn tutkimusmateriaalin pohjalta ohjeet voisivat olla tarkempiakin. Tämä antaa myös viljelytoimpiteiden toteutustarkkuudelle suuret toleranssit. Seurauksena mm. viljelyn ja maan vesitalouden hoidon hyötysuhde voi jäädä alhaiseksi. Ottamalla huomioon pelton sisäinen vaihtelu ja kohdentamalla toimenpiteet yksilöllisesti kuhunkin lohkon erilaiseen osaan, päästään parempaan hyötysuhteeseen niin panosten käytön kuin ympäristöhaittojen ehkäisyn osalta.

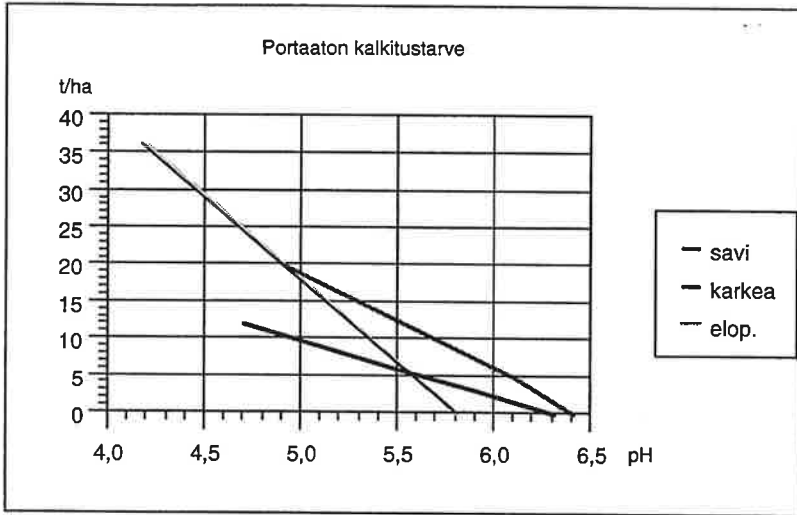
Esimerkkinä panosten käytön hyötysuhteen kohottamisesta paikkakohtaisilla toimenpiteillä ovat taulukossa 1 esitetyt kalkitus suunnitelmat. Suunnitelmat on laadittu kuvion 1 havaintopaikoille viljavuustutkimuksen pohjalta.

paikka	pH	keski-hajonta	viljavuusluokka		kalkitus-tarve t/ha	täsmä-kalkitustarve t/ha
0	6,3	0,29	6,1-6,5	hyvä	-	-
40	6,4	0,16	6,1-6,5	hyvä	-	-
80	5,8	0,07	5,5-5,9	välttävä	10	9
120	5,8	0,12	5,5-5,9	välttävä	10	9
160	5,4	0,07	5,1-5,5	huononl.	15	14

**Taulukko 1.** Kuvion 1 linjan havaintopaikkojen pH-arvot ja keskihajonnat laskettuna viidestä osahavainnosta, sekä vastaavat kalkitustarpeet. Sarakkeen "kalkitustarve" arvot ovat Viljavuuspalvelu oy:n ohjeiden mukaisia. Sarakkeen "täsmäkalkitustarve" arvot on määritelty käyttäen kalkitustarvekäyriä.

Taulukon 1 pH-arvot edustavat havaintopaikkojen keskiarvoja määriteltynä viidestä linjan suuntaisesti metrin välein otetusta näytteestä. Sarakkeen "kalkitustarve" arvot ovat Viljavuuspalvelu oy:n ohjeiden mukaisia. Keskiarvoistamalla "kalkitustarve"- sarakkeen arvot, saadaan kalkkimäärä, joka ei ole optimi millekään paikoista. Kalkkimäärä olisi joko liian suuri tai liian pieni tarpeeseen nähden.

Paikkakohtaisella näytteenotolla saavutetaan pienet hajonnat näytteiden välille. Kun verrataan esimerkiksi taulukon 1 keskihajontoja viljavuusluokkien kokoon, huomataan että kalkitustarve voitaisiin määrittää tarkemmin kuin lohko kohtaisessa kalkituksessa. Sarakkeessa "täsmäkalkitustarve" kalkitustarpeen määrittämisestä on tarkennettu käyttämällä viljavuusluokkien sijaan kuvion 2 kalkitustarvekäyriä. Kyseiset käyrät on laadittu yhdistämällä viljavuusluokkien luokkakakeskuksia vastaavat kalkitustarvearvot suorilla toisiinsa.



**Kuvio 2.** Portaaton kalkitustarve maalajeittain. Laadittu yhdistämälä viljavuusluokkien luokkakeskuksia vastaavat kalkitustarvearvot suorilla toisiinsa.

Edellä kuvattu esimerkki valaisee maan muokauskerroksen kemiallisten ominaisuuksien perusteella tehtävää paikkakohtaista suunnittelua. Samalla tavalla voidaan käyttää hyväksi paikkakohtaista tietoa maan fysikaalisista ominaisuuksista, kuten pellon pinnanmuodoista sekä maaperän rakenteesta. Huuhtoutumisherkkyys on kemiallis-fysikaalinen ominaisuus ja tärkeä tekijä kiinnitettäessä huomiota pellon ravinnepäästöihin. Paikkakohtaisen huuhtoutumisherkkyuden huomioon ottaminen pellon kastelun ja kuivatuksen sekä lannoituksen ja maan muokkauksen suunnittelussa kohottaisi panosten käytön sekä taloudellista että ympäristöhaittoja ehkäisevää hyötysuhdetta.

## Täsmävesitutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää menetelmä, jolla voidaan laatia pellolle huuhtoutumisherkkyysskartta. Menetelmässä maaperän rakenteeltaan erilaiset pellon osat erotellaan toisistaan ja niiden huuhtoutumisherkkyyset mitataan. Tutkimus jakaantuu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa tehdään peltolohkoille digitaalinen maaperäkartta, josta käyvät ilmi pellon profiili sekä erilaiset maakerrostumat noin metrin syvyyteen saakka, tarvittaessa myös syvemmälle. Toisessa osassa toisistaan poikkeaville pellon alueille tehdään huuhtoutumisherkkyyssmittaukset.

Tutkimuksen molemmissa osissa käytetään hyväksi maatulkuiluotausta, ensimmäisessä osassa maan pinnalta ja toisessa osassa maan sisältä käsin. Maatulku on sähköä heikosti johtavien väliaineiden tutkimuksiin soveltuva sähkömagneettinen mittaustilaite, jonka antenni lähettää väliaineeseen (maahan) lyhytkestoisen sähkömagneettisen pulssin radioaaltoaajuuksilla. Kun pulssi kohtaa väliaineessa sähköisen rajapinnan, osa aaltoenergiasta heijastuu takaisin, osan jatkaessa etenemistään. Tutkaantennilla mitataan takaisin heijastuneen aallon lähtöhetkestä paluuhetkeen kulunut aika ja amplitudi. Heijastumisajasta tehdään päätelmät rajapinnan sijainnista. Tarkkojen päätelmien tekeminen vaatii kairaamalla tehtäviä kalibrointimittauksia. Tutkalaitteen lähettämän pulssin kulkua ja heijastuksia kontrolloi taajuuden lisäksi lähinnä väliaineen huokosten vesi-ilma -suhte, sillä sähkömagneettisen aallon etenemisnopeuteen ja heijastumiseen vaikuttavat väliaineen (maan) dielektrisyys ja susceptibiliteetti. Väliaineen sähköjohtavuus vaikuttaa aallon vaimenemiseen ja sillä on vähäinen vaikutus heijastumiseen. (Hänninen et al. 1991)

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa maatulkuu käytetään maan rakenteen määrittämiseen noin metrin syvyyteen saakka. Tutkattavaa syvyyttä saadaan muutettua tutkaustaajuutta muuttamalla. Mitä suurempi taajuus, sitä pienipiirteisemmät rakenne-erot saadaan näkyviin tutkakuvassa, mutta samalla menetetään tutkaussyvyyttä. Maan mittaushetken kosteustila vaikuttaa siihen, millainen tutkakuva maaprofiilista saadaan, ja kuinka siinä erilaiset maan ominaisuuksien muutokset tulevat esiin. Maatulku tehdään pellolla linjoittain. Tutkaulinjojen valinnassa voidaan käyttää hyväksi mahdollisia pellon korkeuskarttoja, ilmakuvia ja satokarttoja. Digitaalista karttaa varten pellon osien ja rajojen paikannukseen käytetään satelliittipaikannusta (GPS).

Paikannuslaitteisto on liitettyä myös maatulkaan, jolloin tiedetään tarkkaan, mistä kohtaa peltoa tutkivat ovat. Maaperäkartan oleellinen osa on maaston korkeustiedot. Korkeustiedot voidaan kerätä joko perinteisellä vaaituksella tai käyttämällä riittävän tarkkaa 3D satelliittipaikannusta. Keräystä datasta laaditaan tietokoneella digitaalinen kartta, käyttäen graafista paikkatietokantaohjelmaa. Kartalta erotellaan rakenteeltaan toisistaan poikkeavat alueet määrittelemällä tutkatuista linjoista pisteet, joissa maan ominaisuudet vaihtuvat. Tulokset varmistetaan kalibrointikairauksin, jossa selvitetään maalaji, maakerrosten todelliset paksuudet ja mahdolliset tiivistymät. Aihetta on tutkinut MMT Hannu Haapala.

Tutkimuksen toisessa osassa kehitetään menetelmä, jolla voidaan mitata maan huuhtoutumisherkkyys maaperäkartan erilaisille osille. Tässä tutkimuksen osassa käytetään maatulkausta, jossa anturi työnnetään maan sisään. Itse tutkalaitteistona on kaapelitutka, jonka alkuperäinen käyttötarkoitus on koaksiaalikaapelien vian paikantaminen. Huuhtoutumisherkkyysmittauksissa käytetään hyväksi sähkönjohtavuuden aiheuttamaa pulssin vaimenemista väliaineessa.

Jokaiselta pellon erilaiselta alueelta otetaan häiriintymättömät suuret maaliiriöt. Lieriöiden koko voi vaihdella, mutta alustavasti on keskitytty lieriöihin, joiden halkaisija on 160 mm ja pituus 600mm. Laboratoriossa lieriöiden läpi huuhdellaan suolapulssi. Suolapulssin kulkeutumista maaliiriön läpi seurataan kaapelitutkalla. Suolapulssimittauksia kaapelitutkalla ovat tehneet mm. Kachanoski ja Ward (1994). Kaapelitutka mittaa lieriöstä läpi tulevan veden sähkönjohtavuutta aikasarjana. Mittaus ja datan tallennus tapahtuvat automaattisesti tietyin aikavälein tietokoneen ohjaamana. Automaattinen mittaus on rakennettu kertamittaukseen soveltuvan TDR1993 v.2.2 -ohjelman (Heimovaara ja de Water 1993) ympärille. Tuloksen assadaan suolapulssin jakauma, jonka läpitulonopeus, muoto sekä pinta-ala kuvaavat maan huuhtoutumisherkkyyttä. Käytettävä suola voidaan valita vapaasti esimerkiksi mielenkiinnon kohteena olevan kasviraivanteen mukaan. Tässä tutkimuksessa käytetään kaliumkloridia sen heikon maahan pidättymisen ja kationinvaihtokyvyn vuoksi. Mmyo Roope Lehtinen valmistelee aiheesta pro gradu -työtä Helsingin yliopiston Maa- ja kotitalousteknologian laitoksella.

## **Mahdolliset huuhtoutumisherkkyyškartan käyttökohteet**

Kartoitettavia alueita voisivat olla esimerkiksi huuhtoutumisriskin suhteen kiistanalaiset pellot tai alueet, jotka sijaitsevat ravinnepäästöillearkojen vesistöjen tai pohjavesien läheisyydessä. Kartan laatiminen on kertaluontoista, koska maaperän muutosilmiöt ovat hitaita. Huuhtoutumisherkkyyšmittauksia voitaisiin käyttää myös selvittäessä erilaisten viljelytoimenpiteiden vaikutusta maan vedenläpäisy- ja ravinteiden pidätysominaisuuksiin.

### **Kirjallisuus:**

**Heimovaara, T., J. & de Water, E.** 1993. A Computer Controlled TDR System for Measuring Water Content and Bulk Electrical Conductivity of Soils. Laboratory on Physical Geography and Soil Science, University of Amsterdam, Report 41. p. 27.

**Hänninen, P., Hänninen, P., Koponen, L., Koskiahde, A., Pollari, R., Saarenketo, T & Sutinen, R.** 1991. Maatutkaluotaus. Geofysikaaliset tutkimusmenetelmät. Suomen Geoteknillinen Yhdistys ry. p. 68.

**Kachanoski, R., G. & Ward, A., L.** 1994. Measurement on Subsurface Chemical Transport Using Time Domain Reflectometry. Symposium and Workshop in "Time domain reflectometry in enviromental, infrastructure and mining applications", Evanston, Illinois, September 7-9, 1994. Special Publication SP 19-94, United States Dept. of Interior Bureau of Mines. p. 171-182.

# Biologisesti käyttökelpoisen fosforin pitoisuus pinta- ja salaojavesissä

*Selostus touko-marrakuussa 1997 saaduista keskeisistä tuloksista*

*Tutkimushanke: Vesitalouden säätely pelloilta pintavesiin joutuvan fosfori- ja kiintoainekuormituksen vähentämiskeinona*

Työryhmä:	Tutkimusassistentti	Risto Uusitalo	MTT/LUO
	Tutkija	Eila Turtola	MTT/MKF
	Erikoistutkija	Markku Yli-Halla	MTT/LUO

## Yhteenvedo

Liuenneen P:n lisäksi osa kiintoaineksen sitomasta P:sta on biologisesti käyttökelpoista. Liennut ortofosfaatti-P ja maa-aineksesta vapautuva P muodostavat yhdessä valumavesien biologisesti käyttökelpoisen P:n. Tämän tutkimusjakson aikana määritettyjen salaojavesien sisältämän P:n biologinen käyttökelpoisuus oli keskimäärin 75 % suurempi kuin liuenneen P:n pitoisuus ja pintavaluntavesissä yli kaksinkertainen liuenneen P:n pitoisuuteen nähden.

Biologisesti käyttökelpoisen P:n pitoisuus oli jonkin verran suurempi pintavalunnassa verrattuna salaojavaluntaan. Tämä selittyi kiintoaineksesta vapautuvan P:n suuremmalla pitoisuudella pintavalunnassa. Veteen liuenneen P:n pitoisuuksilla ei ollut eroa pinta- ja salaojavalunnan kesken.

Salaojavesissä oli keskimäärin alhaisempi kiintoainepitoisuus kuin pintavaluntavesissä, mutta valtaosa Kotkanojan koekentän kiintoainekuormasta tuli salaojavalunnassa. Hyvin toimiva salaojitus saattaa pienentää rehevöittävää kiintoainekuormitusta vähentämällä pintavirtailun määrää. Salaojien kautta voi kuitenkin savimailla tulla huomattavia määriä kiintoainesta erityisesti syysmuokkauksen jälkeisenä aikana.

## Johdanto

Pintamaa sisältää enemmän fosforia (P) pohjamaahan verrattuna, minkä vuoksi eroosiota aiheuttava pintavirtailu voi kuljettaa huomattavia määriä runsaasti P:a sisältävää maa-ainesta vesistöihin. Vähemmän tunnettua on, että myös salaojavedet sisältävät erityisesti savimailla runsaasti kiintoainesta kevään ja syksyn valuntahuippujen aikana (Turtola & Paajanen 1995, Øygarden ym. 1997).

Salaojien kautta purkautuvan veden P-pitoisuus on yleensä pintavaluntaa alhaisempi, koska vajovesi joutuu kosketuksiin vähän P:a sisältävän pohjamaan kanssa ja osa veden kuljettamasta maa-aineksesta suodattuu veden kulkiessa maan huokossysteemin läpi. Jos vajovesi kulkee salaojastoon nopeasti suuria huokosia pitkin, jää sen kontakti pohjamaan kanssa kuitenkin lyhytaikaiseksi. Salaojaveteen liuennut P yhdessä kiintoaineksen sitoman P:n kanssa voi muodostaa huomattavan osan peltoilta purkautuvasta P-kuormasta. Tällöin veden virtailureittien muuttuminen pintavalunnasta salaojavalunnaksi ei välttämättä vähennä P-kuormitusta ratkaisevasti.

Vesinäytteistä mitattu kokonaisfosfori sisältää veteen liunneen ortofosfaatti-P:n sekä maa-ainekseen pidäytyneen ja sitoutuneen P:n. Liuenneen fosforin ja kokonaisfosforin pitoisuutta valuntavesissä on käytetty ennustamaan vesistöjen rehevöitymistä aiheuttavan P:n kuormaa. Veteen liuennut P muodostaa leville välittömästi käyttökelpoisen fosforin lähteen, kun taas maa-aineksen sitomasta P:sta vain osa on biologisesti käyttökelpoista. Siten liunneen P:n ja kokonaisfosforin kuormituksen suuruuden tunteminen eivät suoraan kuvaa rehevöittävää P-kuormaa. Tärkeä kysymys on, kuinka suuri osa maa-aineksen P:sta muuttuu liukoiseen muotoon maata ympäröivän veden P-pitoisuuden laskiessa valuntatapahtuman aikana ja vesistöissä.

Tässä tutkimuksessa vertailtiin pinta- ja salaojavalunnan biologisesti käyttökelpoisen P:n pitoisuuksia. Tutkimuksen tarkoituksena on arvioida pinta- ja salaojavalunnan sisältämän maa-aineksen sitoman P:n kuormittavuutta vesistöille. Tutkimustulosten perusteella pyritään vastaamaan myös kysymykseen kuinka tärkeää eroosiontorjunta on vesiensuojelun kannalta. Valuntavesinäytteiden analysointi aloitettiin syyskuussa 1997 ja tulee jatkumaan kesään 1999 asti.



## Tutkimusaineisto ja menetelmät

Aineistona tässä kirjoituksessa on käytetty syksyllä 1997 MTT:n Kotkanojan huuhtoutumiskentältä kerätyjä valuntapainotteisia salaoja- ja pintavaluntavesiä, sekä TKK:n Sjökullan koekentältä otettuja hetkellisiä salaoja- ja pintavaluntanäytteitä. Kotkanojan kentän ominaisuuksia on aiemmin kuvailut Turtola Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotessa n:o 21 (1996) ja Sjökullan kentän ominaisuuksia Kankaanranta samassa julkaisussa. Edellä mainittujen koekenttien lisäksi analysoitiin näytteitä Joikioisten Kartanoiden pelloilta tulevista salaojista ja pintavalunnasta.

Salaoja- ja pintavalunnasta määritettiin ortofosfaattifosfori (liuennut P, DRP), kokonaisfosfori (TP) peroksidisulfaattihapetuksen jälkeen ja kiintoaineksen määrä (TSS) haihdutusjäännöksenä. Fosforin biologisen käyttökelpoisuuden (BAP) arvioinnissa käytettiin anioninvaihtohartsin pidättyvää P:a. Hartsiuutto tehtiin käyttäen Sibbesenin (1977) kuvauksen mukaan valmistettuja hartsipusseja, muuttaen kuitenkin P:n ulosvaihtamisessa Sibbesenin käyttämä HCl NaCl:in. Tämä muutos katsottiin tarpeelliseksi, koska pussiin jäänyt maa-aines aiheutti esikokeiden mukaan erityisesti vähän kiintoainesta sisältävissä näytteissä melko suuren virheen. Maa-aineksen joutuessa happoliuokseen (HCl) vapautuu kiintoaineksesta P:a, joka ei ole biologisesti käyttökelpoista. Muut analyysit (DRP, TP ja TSS) tehtiin Turtolan & Paajasen (1995) kuvaamilla menetelmillä. Tuloksista laskettiin kiintoaineksen hartsiuutossa luovuttaman P:n pitoisuus (PPi) vähentämällä DRP-pitoisuus BAP:sta.

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kotkanojan kentällä oli alkusyksyn 1997 (1.8.-10.10.) valunnasta 14 % (8 mm) pintavaluntaa ja 86 % (50 mm) salaojavaluntaa. Pelloilla joiden salaojitus toimii hyvin, voi salaojavalunnan osuus olla vieläkin suurempi. Tämän vuoksi on tärkeää tietää salaojien kautta tulevan valunnan vesistöjä kuormittavat ominaisuudet.

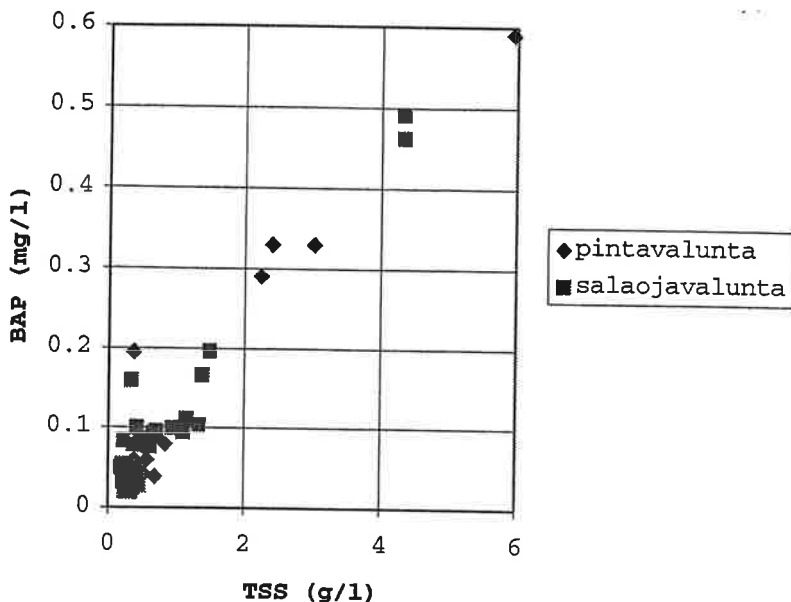
Syksyn -97 valunnan tulokset (taulukko 1) osoittivat pintavalunnan kokonaisfosforipitoisuuden (TP) ja pintavalunnan kuljettaman kiintoainekuorman (TSS) olevan keskimäärin huomattavasti suurempia kuin salaojavesissä. Myös biologisesti käyttökelpoisen P:n (BAP) pitoisuus ja kiintoaineksen fosforinluovutuskyky (PPi/TSS), sekä kiintoaineksen

Tulosten vaihteluväli on kuitenkin suuri ja näytemäärä pieni, minkä vuoksi taulukon 1 lukuja voi tässä vaiheessa pitää ainoastaan suuntaa-antavina.

Kiintoainekuorman kasvaessa biologisesti käyttökelpoisen P:n pitoisuudet pääsääntöisesti kasvoivat sekä salaoja-, että pintavaluntavesissä (kuva 1). Jos tämä yhteys vahvistuu tutkimuksen myöhemmässä vaiheessa suuremmalla aineistolla, vahvistaa se käsitystä eroosiontorjunnan tärkeydestä pyrittäessä pienentämään maataloudesta peräisin olevaa rehevöittävää P-kuormaa.

	<i>PINTAVALUNTA</i>		<i>SALAOJAVALUNTA</i>	
	<i>keskiarvo</i>	<i>vaihteluväli</i>	<i>keskiarvo</i>	<i>vaihteluväli</i>
<i>näytemäärä</i>	19		52	
<i>DRP (mg/l)</i>	0,040	0,012-0,080	0,040	0,017-0,118
<i>PPi (mg/l)</i>	0,09	0,00-0,51	0,03	0,00-0,41
<i>BAP (mg/l)</i>	0,13	0,02-0,59	0,07	0,02-0,49
<i>TP (mg/l)</i>	1,23	0,17-7,21	0,51	0,06-4,69
<i>TSS (g/l)</i>	1,10	0,22-5,94	0,60	0,18-4,32
<i>PPi/TSS (mg/kg)</i>	65	6-387	41	0-127
<i>TP/TSS (mg/kg)</i>	1060	610-4490	680	180-1220

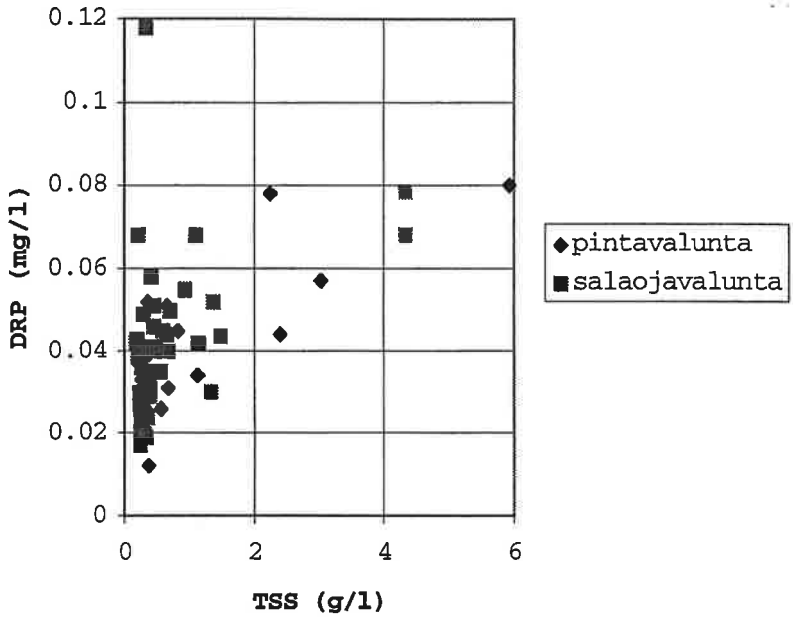
**Taulukko 1.** Pinta- ja salaojavalunnan P- ja kiintoainepitoisuudet syksyn 1997 valumavesissä.



**Kuva 1.** Rehevöittävän fosforin (BAP) pitoisuuksien ja kiintoainekuorman (TSS) välinen suhde salaoja- ja pintavaluntavesissä syksyn -97 valunnassa.

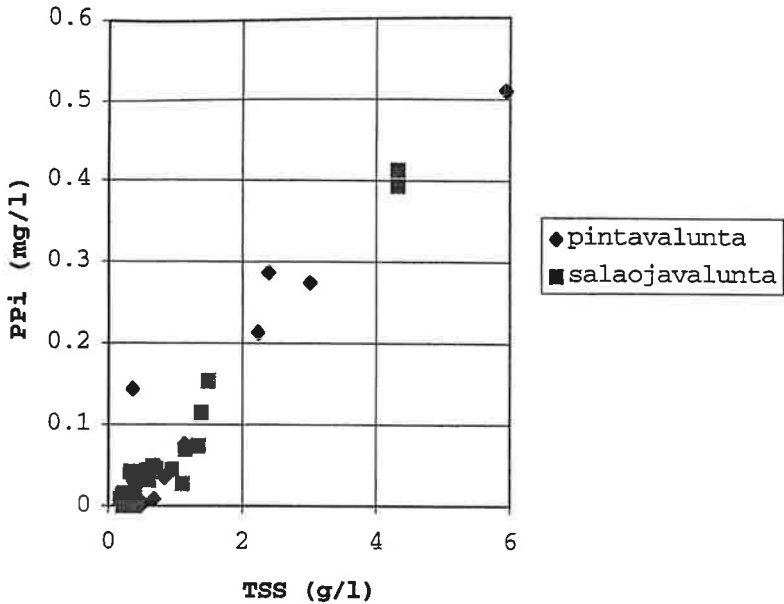
Jaettaessa rehevöittävä P-kuorma (BAP) liuenneeseen P:iin (DRP) ja partikkeleista vapautuvaan P:iin (PPI), voidaan havaita DRP-pitoisuuden olevan PPI-pitoisuutta vähemmän riippuvainen kiintoaineksen määrästä (kuvat 2 ja 3).

Liunneen P:n pitoisuus valuntavesissä on lähinnä maan P-tilasta riippuva suure, kun taas P:n vapautuminen partikkeleista riippuu maan ominaisuuksien lisäksi maa-aineksen ja veden määräsuhteista. Kun maa-ainesta ympäröivässä vedessä on alhainen P-konsentraatio (pieni maa-vesi -suhde), se suosii P:n vapautumista liuenneeseen muotoon (Yli-Halla & Hartikainen 1996). Koska kiintoainepitoisuus salaojavesissä on ollut pieni suuressa osassa näytteitä, on salaojavalunnan mukana kulkeva kiintoainekes voi noutaa suuren osan P:sta liukoiseen muotoon jo valuntatapahtuman aikana.



**Kuva 2.** Liuenneen P:n (DRP) pitoisuuksien ja kiintoaineskuorman (TSS) välinen suhde salaaja- ja pintavaluntavesissä syksyn -97 valunnassa.

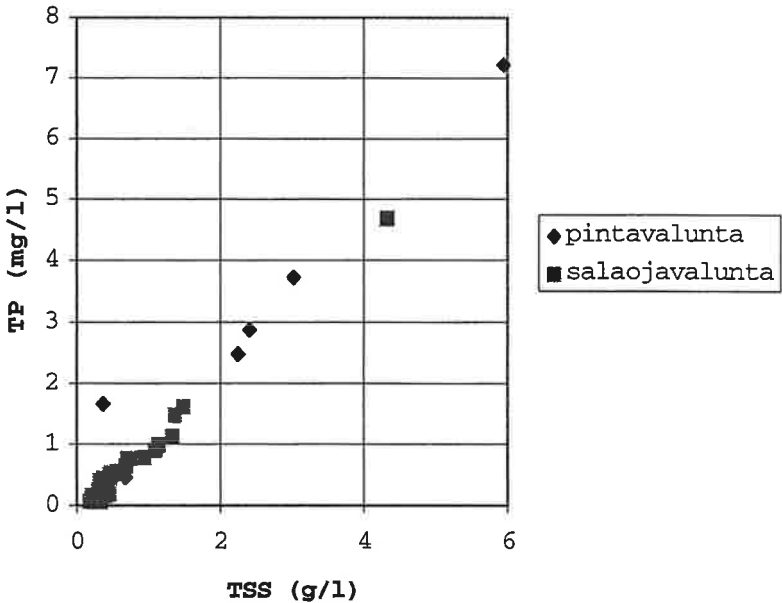
Pintavalunnan kiintoaineksesta vapautuvan P:n pitoisuus (PPi/TSS) oli keskimäärin noin 1,5-kertainen verrattuna salaajavalunnan kiintoainekseen. Kuitenkin sekä salaaja- että pintavalunnan PPi-pitoisuus saattaa olla lähinnä kiintoainespitoisuudesta riippuvaa suuren valunnan aikana, jolloin kiintoainespitoisuudet ovat korkeita (kuva 3).



**Kuva 3.** Partikkeleista vapautuvan P:n (PPI) pitoisuuksien ja kiintoainekuorman (TSS) välinen suhde salaoja- ja pintavaluntavesissä syksyn -97 valunnassa.

Ekholmin (1994) mukaan jokivesistä erotetun kiintoaineksen kokonaisfosforista on leväestien perusteella keskimäärin noin 5 % biologisesti käyttökelpoista. Tähän mennessä analysoidun aineiston perusteella hartsimenetelmän avulla määritetyn PPI:n pitoisuudet vesinäytteiden TP:sta ovat samaa suuruusluokkaa. Pintavaluntavesien sisältämästä TP:sta keskimäärin 5,3 % (vaihteluväli 0,7-10,0 %) ja salaojavesien TP:sta vastaavasti 4,6 % (vaihteluväli 0,0-16,9 %) oli hartsimäärityksen mukaan biologisesti käyttökelpoista.

Koska näytemäärä on tässä vaiheessa vielä pieni, ei tästä aineistosta voi tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Tulosta saattaa vääristää myös vähän P:a sisältävän Kotkanojan kentän näytteiden suuri osuus tutkimusaineistosta. Tutkimuksen jatkossa tullaan käyttämään useita eri koepaikkoja, mikä antaa tarkemman kuvan pinta- ja salaojavalunnan kuljettaman kiintoaineksen fosforinluovutuksesta. Pintavalunnan kiintoaineksen P-pitoisuus (TP/TSS) oli niin ikään noin 1,5-kertainen salaojavalunnan kiintoainekseen verrattuna. Fosforin kokonaispitoisuudet valuntavesissä seurasivat kiinteästi kiintoaineskuormitusta (kuva 4).



**Kuva 4.** Fosforin kokonaispitoisuuksien (TP) ja kiintoaineskuorman (TSS) välinen suhde syysvalunnassa Kotkanojan koekentältä kerätyissä salaoja- ja pintavaluntavesissä.

Koska eroosion mukana vesistöihin kulkeutuva kiintoainekseen sitoutunut P saattaa joutua pelkistyneeseen (hapettomaan) ympäristöön, voi maa-ainekseen sitoututta P:a vapautua vielä sen sedimentoiduttua vesistöissä. Myös tämä seikka puoltaa eroosion torjunnan tärkeyttä vesiensuojellisia tavoitteita laadittaessa.

Siitä huolimatta että kiintoainespitoisuus pintavalunnassa oli keskimäärin suurempi kuin salaojavalunnassa, on Kotkanojan koekentällä salaojien kautta tullut määrällisesti huomattavasti enemmän kiintoainesta. Seurantajakson (1.8-10.10) aikana oli salaojavalunnan (86 % kokonaisvalunnasta) kiintoainekuorma noin 70 % Kotkanojan kentältä tulleesta TSS:n kokonaiskuormasta. Øygarden ym. (1997) raportoivat salaojavalunnan kiintoainespitoisuuden olleen suurempi kuin pintavalunnassa syysmuokkausten jälkeen savimaalla sijaitsevalla koekentällä. Myös Turtola & Paajanen (1995) kiinnittivät huomiota salaojavalunnan kiintoainespitoisuuteen, joka oli Kotkanojan kentän alapäästä suurempi kuin pintavalunnan kiintoainespitoisuus.

## Kirjallisuus

**Ekholm, P.** 1994. Bioavailability of phosphorus in agriculturally loaded rivers in southern Finland. *Hydrobiologia* 287: 179-194.

**Sibbesen, E.** 1977. A simple ion-exchange resin procedure for extracting plant-available elements from soil. *Plant and Soil* 46: 665-669.

**Turtola, E. & Paajanen, A.** 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. *Agricultural Water Management* 28: 295-310.

**Yli-Halla, M. & Hartikainen, H.** 1996. Release of soil phosphorus during runoff as affected by ionic strength and temperature. *Agricultural and Food Science in Finland* 5: 193-202.

**Øygarden, L., Kvaerner, J. & Jensen, P. D.** 1997. Soil erosion via preferential flow to drainage system in clay soils. *Geoderma* 76: 65-86.

**Kaisu Haataja**

## **Pellon vesitalouden säätö, kannattavuuslaskelmien periaatteet**

### **MTTL:n osa-alue:**

Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen tutkimus tukee osaltaan Teknillisen korkeakoulun tutkimusosiota selvittämällä eri vaihtoehtojen taloudellisia vaikutuksia. Tavoitteenamme on arvioida kustannus-hyöty-kehikon avulla normaalin salaojituksen, säätöojituksen ja padotuskastelun vaikutuksia tilatasolla. Eri ojitusmenetelmien kustannus-hyötyanalyysi toteutetaan Teknillisen korkeakoulun aineistoa hyödyntäen. Analyysi laajennetaan edelleen kansantalouden tasolle huomioiden rahamääräisesti vaikeasti arvioitavat ympäristöhyödyt kuten ravinteiden päästövähennykset (muuttujina mm. ojituskoko, viljelykasvi, satotaso, hinta, investointiaika, korko ja ympäristövaikutukset). Tilojen kuvaukseen käytetään tutkimuslaitoksessamme luotuja tilamalleja. Malleihin laaditaan salaoja-investointien vaatimat lisäosat, joiden avulla voidaan arvioida ko. investoinnin kannattavuutta eri olosuhteissa ja eri kokoluokan tiloilla. Tilamalleja on aiemmin käytetty mm. vaihtoehtoisten lannankäsittelyjärjestelmien kustannustuottovertailuun ja Ympäristötukijärjestelmän vaikutusten arviointiin. Tutkimuksen suorittaa MMM Kaisu Haataja..

### **Maatilatason kannattavuuden tarkastelu**

Tilatason laskelmissa käytetään edellä mainittuja tuotantokustannusten laskentaan tarkoitettuja tilamalleja. Viljelmämalleja kasvintuotantoon on rehu- ja leipäviljantuotannolle, kevätöljykasveille sekä sokerijuurikkaalle. Tilamalleja voidaan käyttää eri muutosten arviointiin tilakokonaisuuden kannalta siten, että verrataan uuden tilanteen tuomia kustannus- ja tuottovaikutuksia alkutilanteeseen esimerkiksi seuraavasti:



Eri ojitusinvestointien kannattavuuden arvioinnissa voidaan käyttää lisäksi myös niin kutsuttua nettohyöty -laskentamenetelmää, jolla on aiemmin arvioitu mm. Tyrnävän ja Lapuan salaojituskoealueiden tuloksia. Taloudellisia ympäristövaikutuksia voidaan ajatella muodostuvan kahdella tavalla: toisaalta maatilán kustannussäästöinä johtuen tilatason tehokkaammasta ravinteiden käytöstä ja toisaalta puhtaampien vesistöjen myötä yhteiskunnan tasolla.

## **Kustannus-hyötyanalyysi**

Hankkeen yhteiskunnallisten vaikutusten tarkasteluun käytettävän kustannus-hyötyanalyysin periaatteena on verrata hankkeen kustannuksia ja siitä saatavia hyötyjä keskenään. Eri ajanjaksona muodostuvia kustannuksia ja hyötyjä arvioidaan nykyhetkestä käsin muuttamalla eri erät vertailukelpoisiksi nykyarvomenetelmällä diskonttokerrointa käyttäen. Kustannusten ja etenkin pitkälle aikavälille ajoittuvien ympäristöhyötyjen vaikutusten arvioiminen ja arvottaminen on vaikeaa. Salaojitushankkeiden yhteiskuntatason kustannukset ja ympäristövaikutukset saadaan koostamalla tilamallituloksista yhteiskunnalliset kokonaisvaikutukset, alueittain ja tilakokoluokittain. Ympäristövaikutukset voidaan edelleen rahamääräistä käyttäen vertailukohteena esimerkiksi vaihtoehtoisten puhdistusjärjestelmien hinta- ja kustannusrakennetta. Vastaava analyysi on Maatalouden taloudellisella tutkimuslaitoksella juuri valmistumassa Ympäristötukijärjestelmän kustannustehokkuuden selvittämiseksi. Siinä Ympäristötukijärjestelmän ravinnepäästövähennyksen yksikkökustannuksia verrataan yhdyskuntajätteiden vedenpuhdistamojen päästövähennysten yksikkökustannuksiin.

# Aikaisemmin ilmestyneet Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet:

- 1 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita  
salaojitustutkimuksesta (1987)
- 2 Salaojatutkimusta koskevia aiheita (1987)
- 3 Salaojituskoetoinnasta Ruotsissa ja salaojaputken  
ympärysaineista (1987)
- 4 Salaojatutkimuksia vuosilta 1987 - 1988 (1988)
- 5 Kuvitusta ja kastelua koskevia tutkimuksia (1988)
- 6 Maan tiivistymisen tutkimisesta Ruotsissa ja  
salaojatutkimuksesta Suomessa (1989)
- 7 Salaojaseminaari Osuuspankkiopistolla 27.9.1988 (1989)
- 8 Salaojituksen tavoiteohjelma, näkymiä vuoteen  
2010 saakka (1989)
- 9 Sievin salaojituspäivät 20.-21.9.1989 ja ajankohtaista asiaa  
ympärysaineista (1989)
- 10 Maaseudun ympäristöpäivä Laukaalla 20.3.  
ja Jokioisissa 26.3.1990 (1990)
- 11 Turve- ja kivennäismaiden vesitaloudesta sekä  
rautasoostuman muodostumisesta (1990)
- 12 Salaojituskäytymiä maailmalta (1990)
- 13 Kenttätutkimusmenetelmistä paineenalaisilla salaojitusalueilla  
sekä Junkkarin-järven pengerrys (1991)
- 14 Myyräojituksesta (1991)
- 15 Zaitsevo - koekentän tuloksia (1992)
- 16 Säättösalojitus - koekenttien perustaminen (1992)
- 17 Turvemaiden salaojituksesta ja suoto-ojituksesta (1992)
- 18 Säättösalojitus - tutkimustuloksia vuosilta 1992 - 1993
- 19 Agriculture sector reform in the Baltic republics (1995)
- 20 Maatalouden kehitysnäkymät Baltian maissa  
lähiuosina (1995)
- 21 Säättösalojituksen, uusintaajituksen ja padotuskastelun  
tutkimustuloksia (1996)
- 22 Salaojitus ja pellon vesitalous - tavoitteita toimialan  
kehittämiseksi (1998)





SALAOJITUKSEN TUTKIMUSYHDISTYS RY  
SIMONKATU 12 A 11  
00100 HELSINKI  
p. 90-694 21 00