

SALAOJITUKSEN TUTKIMUSYHDISTYS RY:N TIEDOTE

N:o 16



**SÄÄTÖSALAOJITUS**  
– Koekenttien perustaminen

HELSINKI 1992



# **SÄÄTÖSALAOJITUS**

## **Koekenttien perustaminen**

Tämän julkaisun on rahoittanut Salaojituksen Tukisäätiö

\* \* \*

Julkaisija: Salaojituksen tutkimusyhdistys ry.

Toimitus: DI Esko Laikari (vastaava)

Tekn. tri Tuomo Karvonen

ISSN 0783 - 392 X

## Sisällysluettelo

<i>Säätösalaajitus ja padotuskastelu: tutkimuksen tausta</i> .....	5
Tuomo Karvonen	
<i>Säätösalaajitus- ja padotuskastelututkimus: koekentät, mittaukset ja tutkimustavoitteet</i> .....	9
Tuomo Karvonen	
<i>Säätösalaajitustutkimuksen mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmä</i> .....	18
Pertti Hyvönen	
<i>Salaajitus, säätösalaajitus ja ravinteiden huuhtoutuminen: kirjallisuuskatsaus</i> .....	22
Tuomo Karvonen ja Antti Taskinen	
<i>Salaajitus ja tietokonehallit</i> .....	41
Tuomo Karvonen	
<i>Ravinteiden kierrätys kahteen kerrokseen sijoitettuja salaajaputkistoja käyttäen</i> .....	48
Tuomo Karvonen	
<i>English summary</i> .....	59

# SÄÄTÖSALAOJITUS- JA PADOTUSKASTELU

## TUTKIMUKSEN TAUSTA

Tekn. tri Tuomo Karvonen, Suomen Akatemia, nuor. tutkija (HY)

### Johdanto

Maatalouden fosfori- ja typpikuormitus on nykyisin suurempi kuin teollisuuden ja asutuksen yhteensä aiheuttama kuormitus. Valtioneuvosto teki vuonna 1988 periaatepäätöksen vesiensuojelun tavoiteohjelmasta vuoteen 1995. Sen mukaan maatalouden fosforikuormitusta on vähennettävä kolmanneksella nykytasosta vuoteen 1995 mennessä. Samalla edellytettiin toimia typpikuormituksen merkittäväksi alentamiseksi.

Aivan viime aikoina esitettyjen näkymien mukaan tavoiteohjelman toteutuminen ei näytä todennäköiseltä (kuva 1). Pääasialliseksi syyksi mainitaan se, että ei ole olemassa keinoja, jolla typpikuormitusta voitaisiin pienentää. USA:ssa, erityisesti Pohjois-Karolinassa on kuitenkin viimeisen kymmenen vuoden aikana havaittu, että säättösalaojitus on menetelmä, jolla maatalouden ympäristökuormitusta pystytään merkittävästi pienentämään sekä typen, että fosforin osalta.

Vuonna 1992 Salaojakeskus, teknillinen korkeakoulu ja Helsingin yliopisto käynnistivät tutkimuksen, jonka tavoitteena on selvittää säättösalaojituksen ja padotuskastelun

soveltuvuus Suomen olosuhteissa. Tutkimuksen rahoittajia ovat teknillinen korkeakoulu, maa- ja metsätalousministeriö, Salaojituksen tukisäätiö, Suomen Akatemia, sekä Kemiran säätiö.

Tämän julkaisun eri artikkeleissa on esitelty menetelmän periaate, kuvattu lyhyesti koekentät, sekä tutkimuksen tavoitteet. Tutkimuksen painopistealue on selvittää säädön vaikutus ravinnehuhtoumiin. Tavoitteena on myös kartoittaa ne maalajit, joilla säätö on teknisesti ja taloudellisesti toteutettavissa. Tässä julkaisun artikkeleissa on myös esitelty viimeaikaisia tutkimustuloksia ravinteiden huuhtoutumisesta eri viljakasveilla, eri maalajeilla ja erilaisissa ilmasto-olosuhteissa.

### Maatalouden uudet haasteet

Mikäli Suomi liittyy EY:n jäseneksi, peltoviljely on uusien, vaikeasti ratkaistavien haasteiden edessä. Viljelytilojen kannattavuuden parantaminen edellyttää sekä tilakokojen suurentamista, että yksittäisen tilan kannattavuuden nousua suhteessa tuotantopanoksiin. Toiselta puolen maataloudesta ympäristöön huuhtoutuvien ravinteiden ja kasvin-suojeluaineiden määriä joudutaan jatkuvasti vähentämään. Tämä tulee edellyttämään kokonaisvaltaista

# Typen torjunta työn takana

HS 9.1.1993

SUOMI ON ONNISTUNUT suojelemaan ja parantamaan vesiensä tilaa tietyiltä osin yllättävän hyvin. Pahoin pilaantuneita järviä on enää puolet viime vuosikymmenen puolivälin määrästä. Teollisuus on jo vähentänyt päästönsä lähes 1995:n tavoitteisiin ja suotuisa kehitys näyttää jatkuvan nopeasti edistyvän tekniikan ansiosta. Valitettavasti vesistöjä rehevöittävä typpikuorma on kasvanut tasaisesti jo 20 vuotta.

Täysin puhtaat, luonnontilaiset järvet vähenevät koko maassa ja uhkaavat hävitä, ellei myös haja-kuormittajien kuten maan- ja metsätalouden sekä kalankasvatuksen typpipäästöjä onnistuta leikkaamaan riittävästi. Joskus on järkevää odotella uutta, tehokasta ja taloudellista tekniikkaa, mutta välttämättömyys näyttää myös vauhdittavan uusia

keksintöjä.

Jätevesien riittävä puhdistus tuli liian kalliiksi ja sellun valkaisu ilman klooria oli annettujen lausuntojen mukaan mahdotonta. Onneksi tekniikan kehitys pääsi vauhtiin juuri samaan aikaan, kun ulkomaiset ostajat alkoivat kysellä tuotteiden ympäristövaikutuksia.

Typpilannoitteiden käyttöön maa- ja metsätaloudessa täytyy puuttua yhtä lailla. Tilakohtaiset ympäristösuunnitelmat ja muu valistus vievät kehitystä oikeaan suuntaan, mutta vauhti on liian hidaskä. Ehkä uudet velvoitteet vauhdittaisivat niiden ponnistuksia, joita oman uimapoukaman tuho ei ole vielä havahduttanut tarkistamaan tuotantotapojaan.

## EFFECTS OF AGRICULTURAL WATER TABLE MANAGEMENT ON DRAINAGE WATER QUALITY

March, 1989

Report No. 237

By

R. O. Evans\*

J. W. Gilliam\*\*

R. W. Skaggs\*

Department of Biological and Agricultural Engineering\*  
and

Department of Soil Science\*\*  
College of Agriculture and Life Sciences  
North Carolina State University

The primary benefit resulting from controlled drainage management practices observed in this study was a significant reduction in total nutrient transport from the fields at all sites. The reduction in nutrient transport resulted primarily from the reduction in total outflow. Controlled drainage reduced total nitrogen transport by an average of 7 kg/ha (46.5 %). Total nitrogen

Total phosphorus transport was about 20 percent higher on the surface drainage treatments compared to the tiled treatments. However, drainage control did not appear to increase the relative magnitude of surface runoff (which would tend to increase phosphorus transport) compared to subsurface drainage. In fact, drainage control reduced total phosphorus transport by an average of 0.19 kg/ha (44 %) on both the surface and subsurface drainage treatments.

Kuva 1. Maatalouden ravinnepäästöt - lehtileikkeitä.

veden ja ravinteiden kiertokulun säätöä maa-kasvi-järjestelmässä, sekä tuotantopanosten käytön tarkkaa optimointia.

Ideallisessa tilanteessa maataloustuotanto muodostaisi ravinteiden osalta suljetun kierron. Kestävän kehityksen mukaisessa tuotannossa on oleellista pystyä arvioimaan koko ajan maan ravinnetilanne, ennustamaan ravinteiden huuhtoutuminen eri viljelymenetelmissä, sekä pystyä pienentämään ympäristöön huuhtoutuvia ravinnemääriä vaikka sato-taso olisi korkea. Pellon vesi- ja ravinnetalouden säätäminen kasvin kasvun optimoimiseksi ja ympäristökuormituksen pienentämiseksi edellyttää, että käytettävissä on joku tekninen keino, menetelmä, jolla säätö toteutetaan.

## Säätösalaajitus ja padotuskastelu

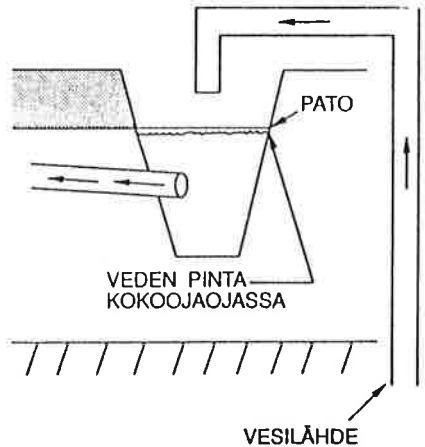
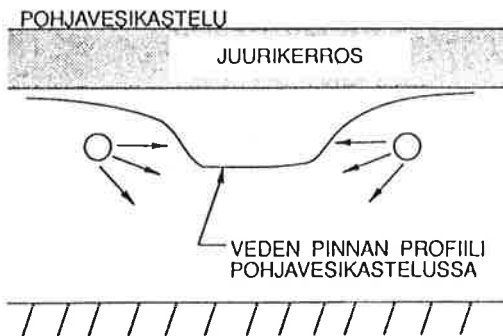
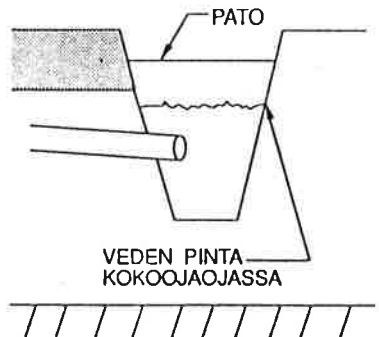
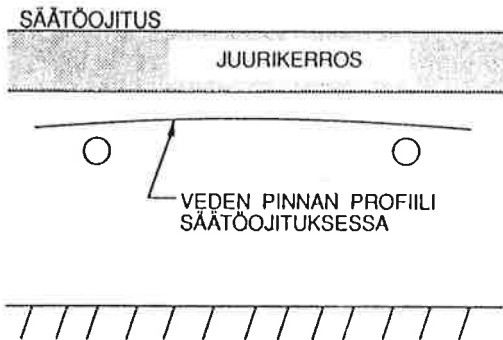
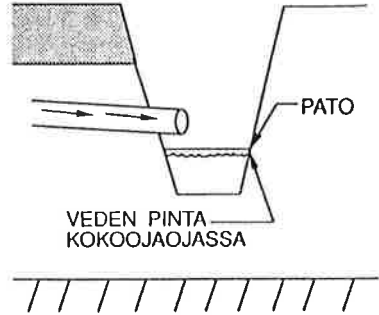
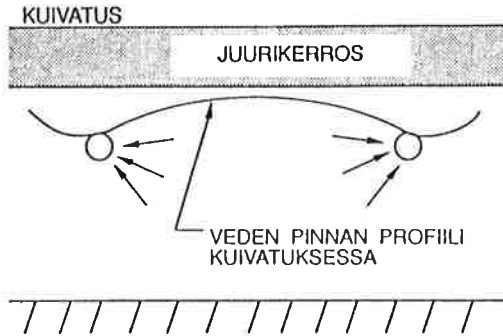
Säätösalaajitustutkimus aloitettiin USA:ssa, Pohjois-Karolinan yliopistossa 1970-luvun lopussa. Syynä tutkimukseen oli, ettei kasvukauden sadanta riittänyt maksimituotokseen. Sen vuoksi etsittiin keinoja ojituksen käyttämiseksi myös kaste-luun. Pellolta salaojien kautta pois virtaavan veden määrää säädeltiin patoamalla ja lisävetä johdettiin pellolle salaojien kautta (Skaggs, suullinen tiedonanto 1990). Tutkimuksen aikana havaittiin pellolta huuhtoutuvien ravinteiden kokonais määrän pienenevän virtaaman

säätelyn ansiosta. Tämän jälkeen tutkimuksen painopiste muuttui niin, että ensisijaisena tavoitteena on selvittää miten säätely on järjestettävä, että maanviljelyn aiheuttamat ympäristöhaitat saataisiin pienemmään.

Maan vesitalouden optimaalisessa säätelyssä voidaan erottaa kolme erilaista tapaa, joilla liikakosteuden ja kuivuuden kasveille aiheuttamaa stressiä ja ravinnehuuhtoumia voidaan vähentää. Kosteina kausina ojitus toimii maan **kuivattajana** perinteisellä tavalla. Kasvukauden aikana kuivatusta voidaan säädellä padon tai kaivon avulla. **Säätösalaajituksessa** ojastosta purkautuvia vesimääriä pyritään vähentämään kokoojaan rakennettavien kaivojen avulla (avo-ojituksessa padoilla). Säätösalaajitus muistuttaa hyvin paljon ns. vedenalaista ojitusta, joita on toteutettu aikanaan lautaputkistoille, sekä nykyään ruostealueille, jolloin pyrkimyksenä on pitää putken ympärys hapettomana mahdollisimman suuren osan vuotta. Säätösalaajituksessa ojastoon ei pumpata lisävetä. **Padotuskastelussa** sen sijaan salaojaputkistoon pumpataan vettä ulkopuolisesta lähteestä ja nostetaan pohjavedenpinnan tasoa pellolla.

## Suomalaisia kokemuksia pellon vesitalouden säätelystä

Suomessa on pellon vesitalouden



Kuva 2. Säättösalaajituksen ja padotuskastelun periaate.



säätöä viljakasvien kasvun turvaamiseksi tutkittu jo 1930- ja 40-luvulla. Vihdin Maasojalle järjestettiin koe-kenttä, jossa tutkittiin padotuskaste-lulla saatavaa sadonparannusta suhteessa pohjavedenpinnan korkeuteen (Wäre 1947). Koetulokset olivat jossain määrin ristiriitaisia, ja menetelmän käyttö ei ole saanut suurta jalansijaa Suomen olosuh-teissa. Vihdin kokeiden - ja mui-denkin Suomessa tehtyjen kastelu-kokeiden - perusongelma on ollut se, että padotus/kastelukäsittely on eri koivuosina ollut sama riippu-matta kasvukauden sääolosuhteista. On selvää, että esimerkiksi sateise-na kesänä kastelusta ei ole hyötyä, vaan todennäköisesti haittaa. Kas-telun tulisikin olla kulloisenkin kasvukauden olosuhteisiin sopeutu-vaa, eikä kaavamaista ennakkosuun-nitelman noudattamista.

1980-luvun alussa maanviljelijä agronomi Markku Holma päätyi Pohjois-Pohjanmaan tilallaan pado-tuskasteluun. Tähän johti havainto, ettei sadanta riitä perunan viljelyssä hietamaalla. Ahonen (1991) teki kokeita Holman pelloilla ja tulosten mukaan padotuskastelulla oli huomattava vaikutus sadon määrään ja varsinkin laatuun. Satoa saatiin 10 % enemmän kuin vertailualueella ja rupisten perunoiden määrä väheni yli 50 % kastelemattomaan alueeseen verrattuna. Ahonen teki myös teoreettisia laskelmia Karvosen (1988) kehittämällä tietokonemallil-la, johon liitettiin osamalli, jolla pystytään ennustamaan myös ravin-

teiden huuhtoutuminen. Laskelmi-en mukaan kokonaistypen huuhtou-tumat pohjavesikastellulta pellolta vähenevät 15-35 %. Vähennys johtuu kasvaneesta denitrifikaatiosta ja padotuksesta, jonka avulla virtaa-maa pellolta pystytään vähentä-mään. Huuhtoumat kasvavat oji-tuksen tiheydessä.

## Soveltuuko Suomeen?

Ahosen (1991) tekemän arvion mukaan Suomen peltomaista n. 41 % on sellaisia, joilla säätösalaajitus ja padotuskastelu tulisivat kysee-seen. Savimaiden osuus peltomais-ta on n. 30 % ja moreenimaiden 10 %. Näille maalajeille säätö-menetelmien soveltuvuutta ei pysty-tä arvioimaan ilman tarkempia tutkimuksia.

Säätösalaajituksen käyttöedellytyksiä arvioitaessa on maan vedenlä-päisevyydellä keskeinen merkitys. Ulkomaisen kirjallisuuden (Evans ja Skaggs 1989) perusteella vedenlä-päisevyyden tulisi mielellään olla 0.5 m/d, jotta salaajituksella saataisiin riittävä kuivatus- ja kastelutehokkuus. Ahosen (1991) tekemien mallilaskelmien mukaan ainakin hietamaalla arvo 0.2 m/d olisi riit-tävä. Käynnistetyssä tutkimuksessa selvitetään tarkemmin säätösalaaji-tuksen soveltuvuus mm. savimailla. Alustavia tuloksia on jo esitetty julkaisun seuraavassa artikkelissa.

Säätösalaajituksen toimivuuden kannalta muita tärkeitä pellon omi-

naisuuksia ovat pellon tasaisuus ja luonnollinen pohjavedenpinnan korkeus. Säättösalaojitukseen käytettävien peltojen tulisi olla melko tasaisia, kaltevuudeltaan korkeintaan 1 % (Evans ja Skaggs 1989).. Teknisesti säätö on toteutettavissa jyrkemmissäkin rinteissä, mutta kustannukset nousevat kun veden säätöön tarvitaan kaltevilla pellolla useita kaivoja. Ulkomaisten tulosten mukaan säätökaivo tulisi asentaa kokoojaan aina kun pellon kaltevuus muuttuu 0.5 m.

Ojitettavalla pellolla pohjavedenpinnan tulisi luonnostaan olla korkealla tai pellon pitäisi sijaita alucella, jossa vettä huonosti läpäisevä kerros (kallio, savipatja) ei ole liian syvällä (3-8 m).

Padotuskastelussa tärkeä edellytys on kasteluveden hankintamahdollisuus. Paras vaihtochto on lähellä sijaitseva joki tai järvi. Jos ojasto suunnitellaan alunperin padotuskastelua varten, on ojaväli ulkomaisissa tutkimuksissa ollut yleensä 30-40 % pienempi kuin normaalissa salaojituksessa (Evans ja Skaggs 1989).

## Kirjallisuutta

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

**Evans, R., Skaggs, R.W.** (1989). Design guidelines for water table management systems on Coastal Plain soils. Transactions of the ASAE, Vol. 5, No 4, pp. 539-548.

**Karvonen, T.** (1988). A model for predicting the effect of drainage on soil moisture, soil temperature and crop yield. Helsinki University of Technology, Publications of the Laboratory of Hydrology and Water Resources Engineering, 1988/1. 214 p.

**Wäre, M.** (1947). Maan vesisuh-teista ja viljelyskasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koe-kentällä vuosina 1939-44. Helsinki, Maa- ja Vesitekniikan Tutkimuksia 15. 240 s.

# SÄÄTÖSALAOJITUS- JA PADOTUSKASTELU- TUTKIMUS

KOEKENTÄT, MITTAUKSET JA TUTKIMUSTAVOITTEET  
Tekn. tri Tuomo Karvonen, Suomen Akatemia, nuor. tutkija (HY)

## Johdanto

Säätösalaajituksen soveltuvuus Suomen olosuhteissa on testattava usealla eri maalajilla ja mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman monella eri viljakasvilla. Tässä artikkelissa on kuvattu lyhyesti koealueet, suoritettavat mittaukset, sekä tutkimuksen tavoitteet ja mahdolliset ongelma-alueet. Koealueiden yksityiskohtainen kuvaus karttoineen ja tarkkoine maalajikuvauksineen julkaistaan myöhemmin Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n vuoden 1993 aikana julkaistavissa tiedotteissa, joten tässä artikkelissa on keskitytty enemmän mittaus- suureiden ja tutkimustavoitteiden esittelyyn. Langaton tiedonkeruujärjestelmä on esitelty tarkemmin tämän julkaisun seuraavassa, P. Hyvösen kirjoittamassa artikkelissa.

## Koealueet

Toistaiseksi on sovittu kolmen erilisen koealueen perustamisesta ja vuoden 1993 aikana perustetaan vielä yksi padotuskastelukoe, sekä mahdollisesti myös ravinteiden kierätyskoe (kts. tämän julkaisun viimeinen artikkeli kaksikerrosajituksen käytöstä ravinteiden kierrätyksessä).

## Sjökulla

Kohdealueista ylivoimaisesti laajin on Rakennushallituksen omistama, teknillisen korkeakoulun hoitama Sjökullan kartano, joka sijaitsee Kirkkonummella, läntisellä Uudella maalla. Perustettu koekenttä on suunniteltu pysyväksi koealueeksi, joka korvaa tutkimuskohteena Otaniemessä sijaitsevan lysimetri-kentän. Koekentän toiminnat on suunniteltu siten, että ne palvelevat sekä tutkimusta että opetusta. Perustutkimuksessa keskitytään maatalousvaltaisen alueen veden ja ravinteiden kierron yksityiskohtaiseen selvittämiseen. Soveltava tutkimus tähtää peltoalueiden ravinnehuu- toumien pienentämiseen säätösala- oituksen avulla.

Sjökullan kartanolla on peltoalueita yhteensä n. 20 ha. Viimeiset kolme vuotta pellot ovat olleet vuok- ralla mv. Åke Hellströmillä. Vilje- lykasveja ovat olleet kevätvehnä, ohra ja rypsi. Vuokrasopimusta pyritään jatkamaan koko tutkimus- jakson ajalle.

Peltojen maalaji on pääasiassa hieta- tai hiesusavea. Jonkin verran on myös liejusavialueita, sekä mul- tamaata. Pellot on salaojitettu valtaosin 1938 ja muutamiin ojastoi-

hin on tehty täydennys- ja muutositusta 1980-luvulla.

### **Tuusula ja Lapua**

Tuusulassa, itäisellä Uudellamaalla sijaitseva pelto on hyvin vettä läpäisevää turvetta. Kohdealueella on entuudestaan pumppuasema, jolla läheisen Tuusulanjärven aika ajoin liian korkean vedenpinnan haittavaikutukset pyritään estämään. Tuusulan koealueella suurin vaikeus on ollut sopivan vertailualueen, eli normaalissa salaojituksessa olevan alueen perustamisessa. Koealueen lopullinen instrumentointi vaatii vielä n. yhden viikon työpanoksen, joka tehdään ennen kasvukauden alkua. Koealueen viljakasvina oli v. 1992 kaura.

Lapualla koealueen maalaji on pääasiassa hiesua ja viljakasvina on viime vuosina ollut peruna. Lapuan koepellon ongelmana on virtaaman mittaamisen vaikeus, sillä tasaisen pellon kaltevuus ei mahdollista mittapadon rakentamista. Tulvan aikaan läheisen valtaojan vedenpinta rajoittaisi joka tapauksessa purkautumista, joten alueen vesitaso on arvioitava mittaamalla pohjavedenpinnan korkeudet mahdollisimman monessa pisteessä. Koealueella radioyhteyden saaminen koealueen ja pääaseman välillä on myös tuottanut ongelmia. Lapuan koealueen lopullinen viimeistely vaatii muutamien päivien työpanoksen, joka tehdään myös ennen seuraavan kasvukauden alkua.

### **Padotuskastelu- ja kierrätyskokeet**

Pohjanmaalle on tarkoitus perustaa kevään (kesän 1993) aikana koealue, jossa testataan padotuskaste-  
lun vaikutusta ravinnehuuhtoumiin, sekä tutkitaan miten kastelu/kuiva-  
tus on toteutettava tämääntyyppises-  
sä järjestelmässä. Viljakasvina tulisi  
olemaan peruna pellon maalajin  
ollessa hietaa.

Ravinteiden kierrätys peltoalueen  
typpihuutouman vähentäjänä on  
erittäin mielenkiintoinen tutkimuk-  
sen kohde. Tämä menetelmä to-  
teuttaa kestäväen kehityksen mukai-  
sen maataloustuotannon kriteerit,  
sillä ravinteiden hyväksikäyttö para-  
nee vaikka satotaso pyritään pitä-  
mään korkeana. Mahdollinen koe-  
alue sijaitsee Isojoella, Porin lähis-  
töllä, missä maalaji on hietaa.

### **Mitattavat muuttujat**

Koekentille on asennettu automaat-  
tiset tiedonkeruujärjestelmät, joilla  
mitataan mahdollisimman monia  
veden määrään ja laatuun liittyviä  
muuttujia. Tiedonkeruujärjestelmä  
on suunniteltu sen tyyppiseksi, että  
automaatiikan keräämä mittaustieto  
voidaan siirtää puhelinlinjaa pitkin  
reaaliajassa tutkijoille/viljelijälle,  
jossa sitä voidaan välittömästi hyö-  
dyntää tutkimuksessa, opetuksessa,  
ja pellon tosiaikaisessa säädössä.

Automaattiseen tiedonkeruujärjes-  
telmään on liitetty seuraavien muut-

tujien mittaus ja tallennus tietokoneen muistiin 15 minuutin välein:

- salaojavirtaaman mittaus mittapatojen vedenpinnan avulla (5 kpl Sjäkullassa, 2 kpl Tuusulassa)
- vedenpinnan korkeus säätökaivos-  
sa (1 kpl Lapualla) ja pohja-  
vesiputkessa
- pintavalunnan mittaaminen mittapatojen vedenpinnan avulla (5 kpl Sjäkullassa, 2 kpl Lapualla)
- pohjavedenpinnan korkeuden mittaaminen (9 kpl Sjäkullassa, 4-5 Tuusulassa ja Lapualla)
- maan lämpötila 10, 20, 40 ja 80 cm syvyydellä (Sjäkulla)
- meteorologiset suureet (ilman lämpötila, sadanta, tuulen nopeus, suhteellinen kosteus, kokonaissäteily)
- lumen kertymisen seuranta punnitsevilla astialla
- maan vesipotentialin mittaus

Jatkuvan seurannan lisäksi on mitaussyunnitelmassa seuraavat kohdet:

- 1) Vesinäytteiden ottaminen sulana aikana automaattisilla näytteenottimilla aina kun virtaama ylittää ennalta asetetun raja-arvon. Talvikaikana näytteet, jos virtaama on riittävän suuri. Näytteistä analysoidaan nitraatti- ja kokonaistyyppi, liukoinen ja kokonaisfosfori, kiintoainespitoisuus, sekä harvemmin pH, happipitoisuus, kationipitoisuudet ja mahdollisesti muitakin aineita.
- 2) Maaperän kasveille käyttökelpoinen mineraalityppi kolmelta syvyydeltä n. kerran kuussa.
- 3) Viljakasvien sadon muodostumi-

nen ja kasvuston tyypin otto kahden viikon välein kasvukauden aikana.

- 4) Maan kosteuspitoisuus gravimetrisesti.
- 5) Lumen vesiarvo ja tiheys.
- 6) Vesinäytteet pohjavesiputkista (typpi ja fosfori).
- 7) Peltojen ravinnetilan kartoitus vähintään 3 m:n syvyyteen kokeiden alussa ja koejakson lopussa v. 1995.
- 8) Selvittää mahdollisuudet mitata denitrifikaatiota suoraan peltomitta-  
kaavassa.

## Tutkimustavoitteita

### Maatalouden ravinnekuormituksen pienentäminen säätösalaajituksella

Tavoitteena on sekä selvittää säätösalaajituksen vaikutus ravinnehuuhtoumiin, että kartoittaa ne maalaajat, joilla säätö on teknisesti ja taloudellisesti toteutettavissa.

Käytännön tavoitteena on selvittää miten säätö on ajoitettava, jotta vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen on suurin mahdollinen. Sen lisäksi kerätään kokemuksia siitä, miten säätösalaajitus on suunniteltava ja toteutettava, eli suunnitelmille ja urakoitsijoille on laadittava ohjeet ja toimenpidesuositukset. Säätösalaajitus on pystyttävä suunnittelemaan ja toteuttamaan sekä uusille, että olemassa oleville salaajituksille.

Säätösalaajituksessa ojasto tyhjenetään ennen kylvötöiden tekemistä, mutta välittömästi sen jälkeen

nostetaan säätelykaivon kynnyskorkeus n. 40-60 cm:n etäisyydelle maanpinnasta. Tavoitteena on vähentää valuntaa, lisätä haihduntaa ja ajoittaa purkautuvat vesimäärät siten, että veden laatu on ympäristön kannalta paras mahdollinen.

### **Veden ja ravinteiden kierto pelto- mittakaavassa**

Koealueet tarjoavat arvokasta lisätietoa myös perustutkimustasolla veden ja ravinteiden kierrosta pelto-  
mittakaavassa. Veden ja ravinteiden kierron osatutkimuksia ovat mm.:

- pohjavedenpinnan vaihtelu kalte-  
valla peltoalueella
- pintavalunnan muodostumisme-  
kanismin selvittäminen
- sadannan jakaumafunktio ja sen  
yhteys pintavalunnan muodostumis-  
mekanismeihin
- lumen kertyminen ja sulaminen,  
kulkeutuminen peltoalueella ja  
lumen vesiarvon automaattinen  
mittaaminen
- roudan muodostuminen ja sulami-  
nen ja roudan vaikutus valunnan  
syntymekanismiin
- hydraulisen johtavuuden vaihtelu  
ja kriging-menetelmien soveltami-  
nen

Sjökullan koealueesta laaditaan 3-  
dimensionaalinen, ns. fysikaalisesti  
perusteltu matemaattinen malli,  
jolla kuvataan veden ja ravinteiden  
kiertoa. Tämänäyttöisen mallin  
avulla on mahdollista arvioida mm.

ihmistoimintojen vaikutus hydrolo-  
gisen kierron komponentteihin.

### **Pintavalunta- ja eroosiotutkimuk- set**

Sjökullan alueelle on perustettu  
yhteensä viisi pientä koealuetta,  
joilla mitataan pintavalunnan ja  
pellon pinnasta tapahtuvan eroosion  
ajallista jakautumista erilaisilla  
pellon käyttömuodoilla pinnan  
kaltevuuden vaihdellella. Tähän  
mennessä Suomessa tehdyissä eroo-  
siotutkimuksissa ei ole mitattu  
kuormitushuippujen ajallista ja-  
kaumaa hyvin lyhyellä aikavälillä, n.  
10 min - 1 h. Kiintoaineskuormas-  
ta, ja siten myös fosforikuormituk-  
sesta, valtaosa tulee kuitenkin muu-  
tamasta rankimmasta sadantatapah-  
tumasta. Sjökullassa kullakin koe-  
alueella mitataan pintavaluntaa  
mittapadoilla, joiden vedenpinnan  
korkeuden mittaaminen on yhdistetty  
automaattiseen tiedonkeruujärjes-  
telmään.

Vedenlaatu näytteet otetaan akku-  
käyttöisellä näytteenottimella, joka  
ottaa 250 ml:n näytteen halutuun vä-  
leihin (max. 24 näytettä), jos veden-  
korkeus mittapadon yläpuolella ylit-  
tää ennalta annetun rajan. Näyt-  
teistä analysoidaan kokonaistyyppi ja  
fosfori, edellisten liukoiset fraktiot,  
sekä kiintoainespitoisuus.

Pintavalunta- ja eroosiotutkimuksis-  
ta saadaan arvokasta tietoa mm.  
seuraavista asioista:

- säätösalaajituksen vaikutus pinta-valunnan määrään
- eroosion ajallinen vaihtelu, kun pellon pinnan käyttömuoto ei muutu
- pinnan kaltevuuden vaikutus eroosioon, kun pellon käyttömuoto ei muutu
- pinnan kaltevuuden ja pellon käyttömuodon yhteisvaikutus eroosioon
- sadannan rankkuuden, pellon käyttömuodon, pinnan kaltevuuden ja eroosion välisten regressioyhtälöiden tai nomogrammien laatiminen

### **Fosforin huuhtoutumisen pienentäminen suodinojalla**

Fosforin huuhtoutumien pienentämiseksi on vesistöjen lähetyville kaavailtu ns. suojavyöhykkeitä, jotka eivät olisi normaalissa viljelyksessä. Suojavyöhykkeiden avulla pyritään estämään kiintoaineen huuhtoutuminen vesistöön, mikä pienentäisi välittömästi fosforihuuhtoumia. Suojavyöhykkeen vaihtoehtona on tarkoitus Sjäokullan koekentällä kokeilla ns. suodinojaa.

Suodinojakokeen taustalla on uusi keksintö, jossa maa-ainekseen sekoitetaan 5-10 % sammutettua

---

\* Partek Oy on hakenut keksinnölle patenttia (J. Palko, Oulun vesi- ja ympäristöpiiri ja K. Weppling, Nordkalk Oy/Partek Oy)

kalkkia. Tuloksena on rakenne, joka käyttäytyy kuin alkuperäinen maa-aines, mutta läpäisee vettä n. 100 kertaa paremmin kuin alkupe-  
räinen rakenne. Kalkin ansiosta maalla on myös hyvä kyky poistaa fosforia reduktion ollessa jopa 90 %.

110 m pituinen suodinoja on sijoitettu pellon alareunaan valtaojan suuntaisesti siten, että pintavalunta imeytyy suodinojaan, jolloin fosfori pidättyy maaperään. Suodinojaa on kokeiltu toistaiseksi vain lysimet-reissä, joten Sjäokullan koe on ensimmäinen käytännön viljelyä vastaavissa oloissa tehty tutkimus. Suodinojakoe tehdään yhteistyössä Nordkalk Oy:n (Partek Oy) ja Oulun vesi- ja ympäristöpiirin kanssa.

### **Ongelmia ja epävarmuustekijöitä**

#### **Ilmaston asettamat rajoitukset**

Talviaika kestää meillä useita kuu-  
kausia, joten roudan vaikutus sää-  
tösalaajitukseen on ongelmallinen,  
mutta mielenkiintoinen tutkimus-  
kohde, joka on uutta myös kansain-  
välisesti. Mahdollisuudet vähentää  
ravinnehuuhtoumia ovat oleellisesti  
sidoksissa valunnan vähentämiseen,  
eikä Suomen olosuhteissa haihdun-  
nan lisääminen ole niin ilmeistä  
kuin esim. Pohjois-Karolinassa.

Mielenkiintoista on myös selvittää,  
voiko valunnan ja ravinteiden huuh-  
toutuman ajallista jakautumista sää-

dellä. Kasvukauden lopussa ojasto on ainakin osittain tyhjennettävä sadonkorjuun mahdollistamiseksi. Veden laatu saattaa tällöin olla parempi kuin esim. alkukesästä, sillä kasvusto on sitonut sekä lannoitteena annetun typen, että mineralisoituneen typen.

Säädön vaikutus pellon kasvukuntoon ja pellon kantavuuteen on myös selvitettävä.

### **Käytännön toteutusongelmia**

Mikäli säätösalaajitus osoittautuu kannattavaksi ravinnehuhtoumien vähentäjänä on edessä käytännön ongelma, eli miten saada viljelijät investoimaan säätelyssä tarvittaviin rakenteisiin. Pohjois-Karolinassa on Evansin ym. (1989) mukaan päädytty siihen, että säätösalaajitus on todettu parhaaksi menetelmäksi, joka täyttää osavaltion avustusohjelman kriteerit. Vuodesta 1983 lähtien säätösalaajitushankkeet ovat saaneet n. 80 % kaikista avustusohjelman jakamista rahoista (Evans ym. 1989). Suomessakin saattaa tulla kyseeseen vaihtoehto, jossa yhteiskunnan tukitoimin tuetaan ympäristökuormitusta vähentävien teknisten ratkaisujen toteuttamista.

### **Käytännön kokemuksia Sjö-kullasta v. 1992**

Sjökullan automaattinen tiedonkeruujärjestelmä on ollut käytössä heinäkuusta 1992 alkaen. Tiedon-

keruujärjestelmä on toiminut yllättävän hyvin ottaen huomioon sen, että alueella on useita kymmeniä tietoa keräviä antureita. Suurimmat vaikeudet ovat olleet sadannan jatkuvassa mittaamisessa pakkaskausina, virtaaman mittaamisessa salaojissa silloin, kun putkien vetokyky ei riitä, sekä automaattisten vesinäytteen keruulaitteiden virrankulutus, joka selvästi suurempi kuin laitteiden toimittaja lupasi.

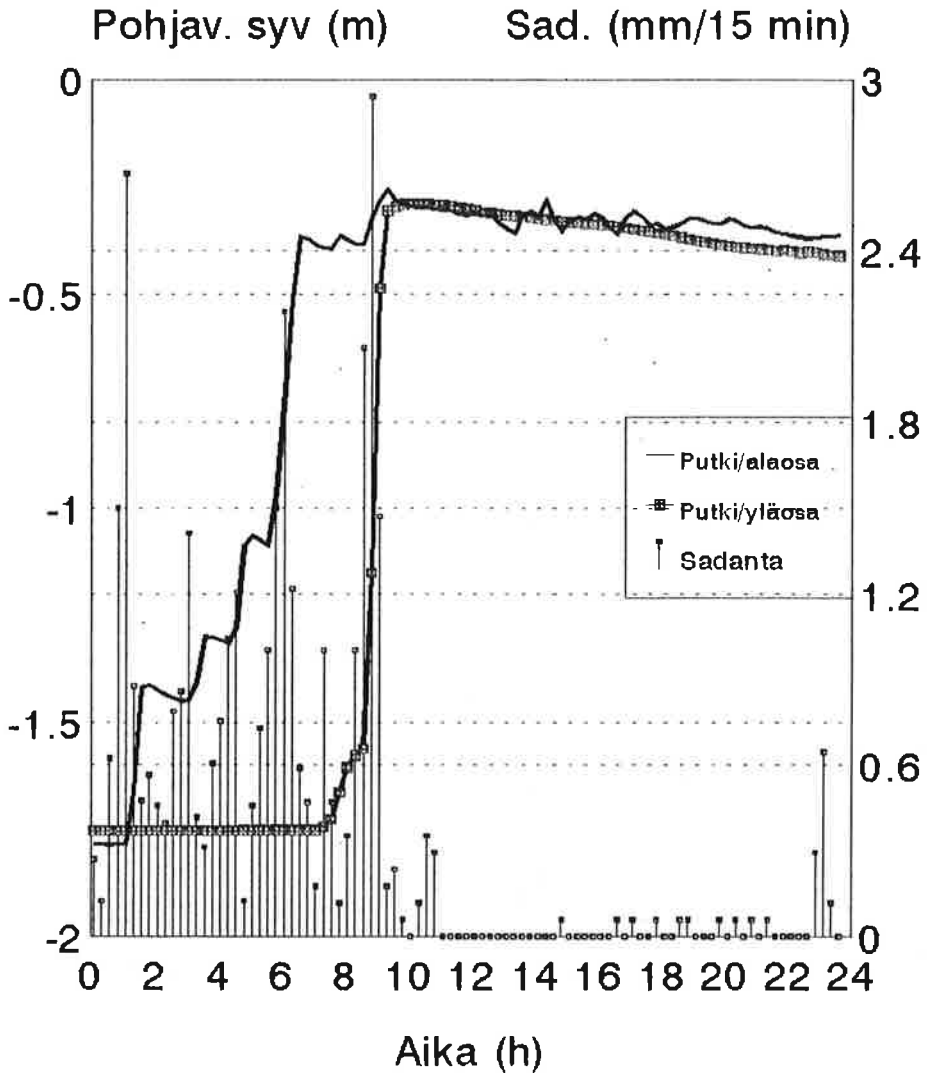
Ultraäänimittaukseen perustuva mittapadon vedenpinnan seuranta on Suomen oloissa parempi kuin paineanturi, joka ei kestä pakkasta. Sadannan mittauksessa saattaa jatkossa olla järkevää siirtyä vaakamittaukseen, jotka pystyvät havaitsemaan sekä lumena, että vetenä tulleen sadannan.

### **Tuloksia salaojavalumasta savimaalla**

Tämän artikkelin päätavoite ei ole esitellä koekentiltä saatuja tuloksia, mutta osoituksena automaattisen mittausjärjestelmän hyödyllisyydestä ja mittaamiseen liittyvistä ongelmista, on esitetty elokuun 15.8.1992 sadekuuron vaikutus salaojavirtaamiin ja alueen pohjavedenpinnan korkeuksiin. Sadekuuroa edelsi erittäin pitkä kuiva kausi ja savipellon pinnaas oli jopa 2 cm:n levyisiä halkeamia. 34 mm:n sadekuuro nosti sekä alueen pohjavedenpinnan korkeuksia (kuva 1), että salaojavirtaamia (kuva 2) muutamassa tun-

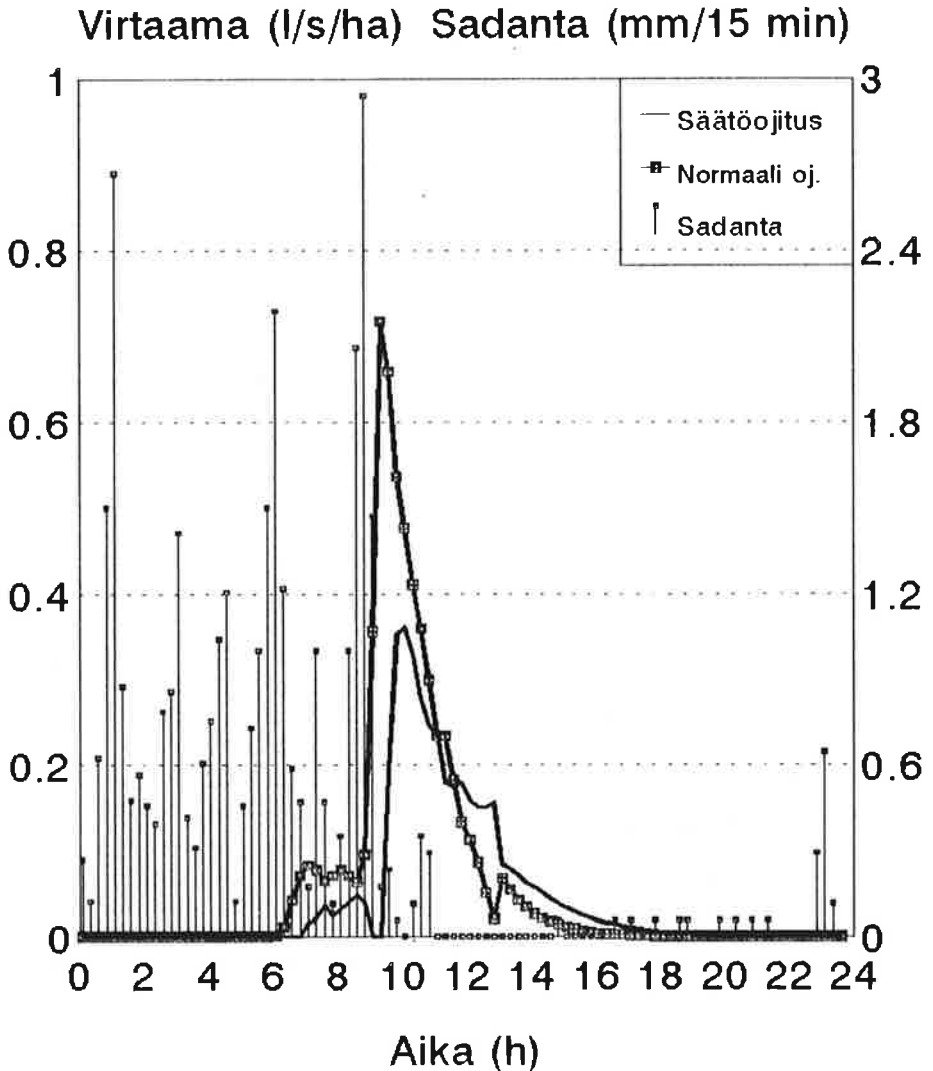


SÄÄTÖSALAOJITUSTUTKIMUS  
 SJÖKULLA, 15.8.1992  
 KOEALUE 2



Kuva 1. Pohjavedenpinnan syvyys kahdessa koeputkessa Sjöskullan koealueella elokuussa 1992.

SÄÄTÖSALAOJITUSTUTKIMUS  
 SJÖKULLA, 15.8.1992  
 KOEALUE 2



Kuva 2. Valunta perinteisessä salaojituksessa, sekä säätsalaojituksessa elokuun 15. 1992.

nissa. Valunnan osuus kokonaissadannasta oli tässä tapauksessa 2 %. Tulokset osoittavat, että tässä tapauksessa halkeamat olivat jatkuvia myös vaakasuunnassa, eli salaojavirtaama lisääntyi välittömästi sen jälkeen, kun pohjavedenpinta oli noussut salaojien tason yläpuolelle.

Tässä tapauksessa virtaama nousi muutamassa tunnissa perinteisessä salaojituksessa arvoon 0.7 l/s/ha ja säätösalojituksessa arvoon 0.37 l/s/ha. Tulokset osoittavat, että halkeilleessa savimaassa säätöojituksella on salaojavalumia ja sitä kautta ravinnehuhtoumia pienentävä vaikutus. Mielenkiintoista on myös todeta, kuinka nopeasti salaojavirtaama nousi ja laski. Mikäli käytettävissä ei ole jatkuvaa virtaaman mittausta, ei ko. valuntahuippua olisi esim. kerran vuorokaudessa tehtävillä mittauksilla todettu lainkaan.

## Kirjallisuutta

Evans, R.O., Gilliam, J.W. and Skaggs, R.W. (1989). Effects of agricultural water table management on drainage water quality. Raleigh, Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, Report N:o 237, 87 p.

Melvin, S.W. and Kanwar, R.S. (1991). Environmental and economic impacts of a recycling subirrigation drainage system. International Conference on Subirrigation and Controlled Drainage. Lansing, Michigan, August 12-14, 1991 (manuscript).

Skaggs, R.W. (1980). A water table management model for artificially drained soils. Tech. Bulletin No. 267. North Carolina Agricultural Research Service. N.C. State University, Raleigh, 54 p.

Skaggs, R.W. (1987). Design and management of drainage systems. In Proceedings of Fifth National Drainage Symposium, pp. 1-12. ASAE, St. Joseph, MI.

Skaggs, R.W., and Gilliam, J.W. (1981). Effect of drainage system design and operation on nitrate transport. Transactions of the ASAE, Vol. 24, No. 4, p. 929-934.

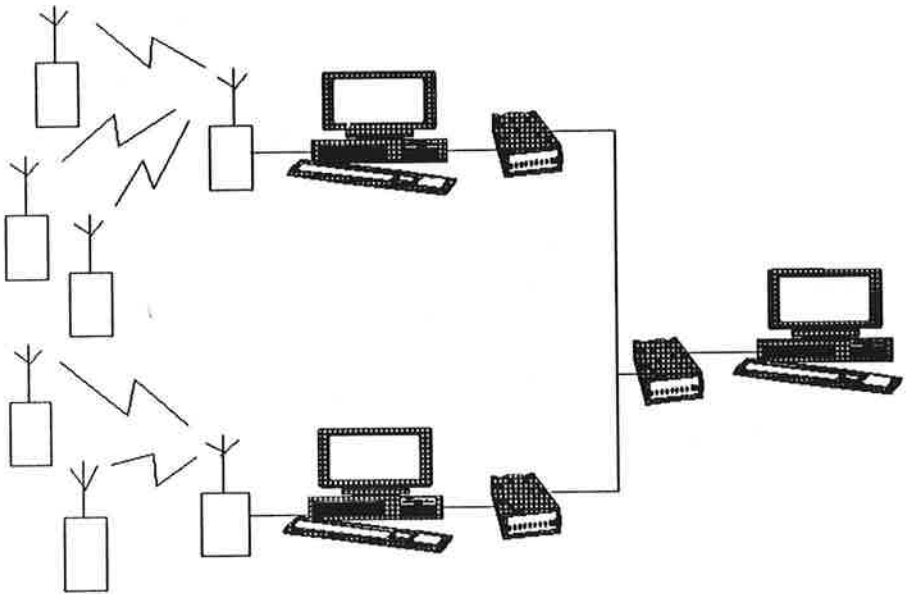
# SÄÄTÖSALAOJITUSTUTKIMUKSEN MITTAUS- JA TIEDONKERUUJÄRJESTELMÄ

DI Pertti Hyvönen, Pythagoras OY

## Johdanto

Mittausjärjestelmän perusosana ovat tiedonkeruuyksiköt (data-loggerit), jotka toimivat akkujen ja aurinkopaneelin varassa. Kuhunkin yksikköön voidaan kytkeä 12 mittauanturia. Mittaustaajuus on 15 minuuttia. Mittauksen väliajan laite "nukkuu" vähän virtaa kuluttavassa tilassa. Data-loggerit lähettävät mittauksien jälkeen radion välityksellä pääasemalle. Pääasemana toimii PC-tietokone, johon on yhdistetty ra-

diomodeemi - samanlainen kuin data-loggereissa. Loggerit toimivat samalla radiokanvalla ja pääasema pystyy kuuntelemaan useampaa loggeria. Radio toimii 75 cm alueella ja sen kantomatka on maastosta riippuen 3-10 km; pitemmät etäisyydet - jopa 20-30 kilometriä - ovat mahdollisia, mikäli maastoesteitä ei ole ja käytetään suunta-antenneja. Pääasemat ovat edelleen kytketty puhelinlinjan välityksessä keskuskooneeseen, joten mittausasemille ollaan reaaliaikaisessa yhteydessä.



Kuva 1. Tiedonkeruujärjestelmä.

Vaikka pitkäaikaisessa tutkimusprojektissa reaaliaikainen mittausdatan saaminen keskukoneelle ei sinänsä olisi välttämätöntä on tästä kuitenkin se hyöty, että systeemin toimintaa voidaan seurata menemättä paikan päälle ja vikatilanteista saadaan tieto välittömästi. Maastomittaukset tuottavat vaikeuksia verkkovirran puutumisen vuoksi. Toisaalta tämä on myös etu: mittausjärjestelmä ei ole kytketty sähkö- tai puhelinverkkoon, joten se on melko hyvin suojattu ukonilmoilta.

## Mittaukset

Suomen ilmastolliset olosuhteet asettavat mittauslaitteistolle suuret vaatimukset - jopa kohtuuttomat.

Jokaisella koealueella mitataan meteorologiset suureet (auringon säteily, ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, tuulen nopeus ja sadanta) yhdellä asemalla. Näiden lisäksi tärkeimmät mittaukset ovat pohjaveden pinnankorkeus sekä valunta.

Sadantaa lukuunottamatta meteorologiset mittaukset tehdään käyttäen tavanomaisia mittalaitteita: auringon säteilyyn on valittu Englantilaisen Campbellin säteilypyranometri ja muihin mittauksiin kotimaiset Vaisalán anturit.

Sadantaa mitataan yleensä kippilaskurilla. Tämä vaatii kumminkin jatkuvaa virransyöttöä anturille. Tästä syystä sadannan mittaukseen rakennettiin keräilyastia, jonka vesimää-

rää mitataan pinnankorkeusanturilla. Systeemi osoittautui toimivaksi, mutta alkukevät ja loppusyksy tuottavat ongelmia jäätyminen vuoksi. Loppusyksyllä Sjäkökullan koekentälle asennettiin suurempi keräilyastia ja se varustettiin vaaka-anturilla. Tällä on tarkoitus mitata myös lumena tulevaa sadantaa painoon perustuen.

Pohjaveden pinnankorkeutta mitataan 2.5 metriä pitkän muoviputken sisään asennetulla paineanturilla. Muoviputki on rei'itetty viiden senttimetrin välein neljällä 3 mm rei'ällä. Putki on upotettu reikään, jonka halkaisija on 5-6 senttimetriä ja se on vuorattu huokoisella ilmastointiputkella. Yläpää on tiivistetty savella, joka estää sadeveden pääsyn putkeen.

Valumat mitaan V-aukkoisilla mitapadoilla. Pinnankorkeus mitataan kotimaisilla Valmetin paine-erolähettimillä. Tässä mittauksessa on myös otettava huomioon jäätymisvaara. Tästä syystä muutamiin pa-toihin on asennettu ultraäänianturit pinnankorkeuden mittaukseen. Mikäli ne osottautuvat luotettaviksi, siirrytään jatkossa niiden käyttöön.

Veden laatua mittaavia antureita ei ole asennettu toistaiseksi. Laboratoriossa on testattu Tarton yliopistossa kehitettyä nitraattianturia (ioniselektiivinen elektrodi). Tämä on tarkoitus asentaa kentälle ensi kesänä. Myös pH-mittausta harkitaan. Toistaiseksi veden laatu mitataan

näytteistä, joita kerätään automaattisilla näytteenottimilla, joita ohjataan data-loggerilla virtauksen mukaan.

Kuluvan talven aikana on tarkoitus kehittää mittausmenetelmiä ja näihin yhdistettyjä laskentamalleja lumen vesi-arvon määrittelemistä varten.

## Ohjelmisto

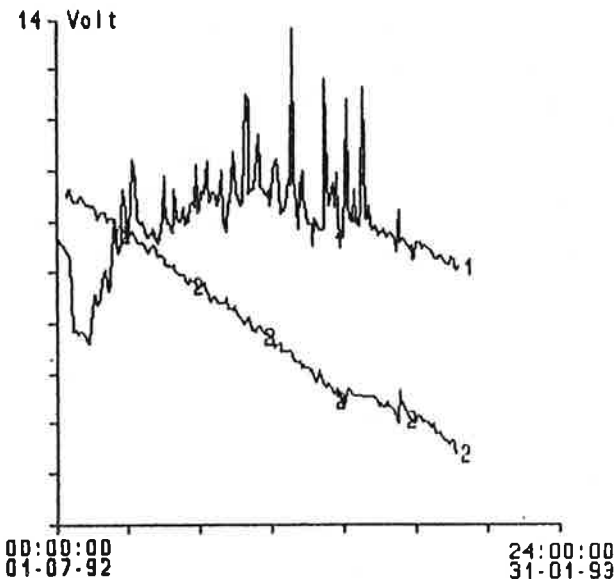
Ohjelmisto voidaan jakaa kolmeen osaan: pääaseman ohjaus, tiedonsiirto ja mittaustulosten analysointi.

Ohjelmisto on toteutettu siten, että käyttäjän ei tarvitse tuntea tiedostorakenteita eikä tiedonsiirto-ohjel-

mia: mittaustietojen siirto mittausasemilta keskuskoneelle ja tutkijoiden käyttöön tapahtuu automaattisesti.

Mittaustietojen analysointiohjelmissä sisältää grafiikan sekä rutiineja mittaustiedon muokkaamiseen - esimerkiksi päivän minimi- ja maksimiarvon etsiminen, liukuvan ja aikakeskiarvon laskennan sekä käyrän sovituksen mittaustuloksiin.

Suuresta datamäärästä johtuen tieto on talletettu muistiin pakatussa muodossa. Käyttäjä voi konvertoida haluamansa tiedon ASCII-muotoiseksi tiedostoiksi. Nämä tiedostot ovat edelleen siirrettävissä muiden ohjelmistojen käyttöön.



Kuva 2. Akun jännite.

Grafiikkaohjelmisto tekee taustalla HPGL-muotoista piirturitiedostoa, joka voidaan liittää esimerkiksi WP-tekstiin.

## **Kokemuksia**

Kesän ukonilmoista on selvitty, mutta talvipakkaset on vielä kokematta, joten systeemin pitkäaikaisesta luotettavuudesta on vielä ennen aikaista tehdä johtopäätöksiä. Toistaiseksi systeemi on toiminut.

Eräs mielenkiintoinen yksityiskohta systeemin toiminnan kannalta on akkujen ja aurinkopaneelien riittävyys. Koska loggerit ovat vähän virtaa kuluttavassa tilassa mittausten väliajan, systeemin ylläpitoon riittää hyvin pieni (.7 wattia, koko 14x20

cm) aurinkopaneeli. Akun kapasiteetti on 6.5 ampeerituntia. Kuvassa 2 on esitetty akun jännite kahdelta loggerilta. Asema 1:lle asennettiin paneeli heinäkuun alussa. Akku purettiin noin 12 volttiin ennen asennusta. Aseman 3 annettiin toimia ilman paneelia lokakuun loppuun saakka kulutuksen testaamiseksi. Paneeli asennettiin lokakuun lopussa, josta lähtien on havaittavissa lievä muutos jännitteen laskussa, vaikka loppusyksy on ollut melko pimeää. Akun valmistajan mukaan jännitteen ehdoton minimi on noin 10.5 volttia. Helmikuussa auringonsäteily kasvaa ja myös tällä asemalla on mahdollisuus selvitä talvesta. Kovat pakkaset saattavat tosin pahentaa tilannetta. Kuvaajasta päätellen aseman 1 voi olettaa selviytävän talven yli.

# SALAOJITUS, SÄÄTÖSALAOJITUS JA RAVINTEIDEN HUUHTOUMINEN KIRJALLISUUSKATSAUS

Tekn. tri Tuomo Karvonen, Suomen Akatemia, nuor. tutkija (HY)  
Tekn. yo. Antti Taskinen, Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden laboratorio

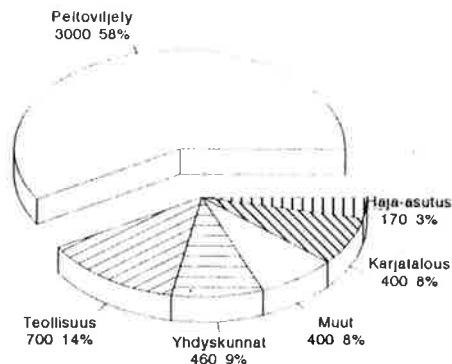
## Johdanto

Vesistöjen rehevöityminen on Suomessa eräs laaja-alaisimmista ja haitallisimmista ympäristöongelmista. Rehevöitymistä aiheuttava fosfori- ja typpikuormitus tulee joko pistemäisistä päästölähteistä tai hajakuormituksena. Maatalouden

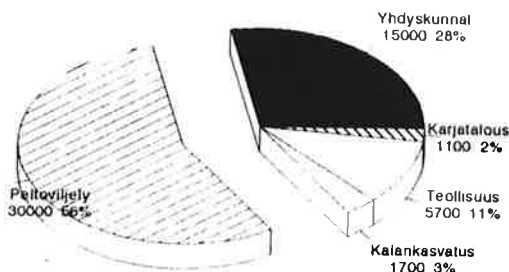
aiheuttama fosfori- ja typpikuormitus (kuva 1) on nykyisin suurempi kuin teollisuuden ja asutuksen yhteensä aiheuttama kuormitus (Rekolainen ym. 1992).

Valtioneuvosto teki vuonna 1988 periaatepäätöksen vesisensuojelun tavoiteohjelmasta vuoteen 1995.

**FOSFORI**  
KOKONAISKUORMITUS  
1000 kg/v



**TYPPI**  
KOKONAISKUORMITUS  
1000 kg/v



Kuva 1. Fosforin ja typen kokonaiskuormituksen jakaantuminen eri kuormituslähteiden kesken (Rekolainen ym. 1992).



Sen mukaan maatalouden fosforikuormitusta on vähennettävä kolmanneksella nykytasosta vuoteen 1995 mennessä. Samalla typpikuormitusta edellytetään pienennettävän merkittävästi.

Tämän artikkelin päätarkoitus on käydä läpi lähinnä ulkomaista kirjallisuutta, jossa on arvioitu säättösalaojituksen ja padotuskastelun vaikutus typen ja fosforin kulkeutumiseen pelloilta vesistöihin. Sen lisäksi tarkoitus on laajentaa MAVEROn loppuraportissa (Rekolainen ym. 1992) esitettyä kirjallisuuskatsausta peltoalueiden ravinteiden huuhtoumista. Painopiste on niissä tutkimuksissa, joissa on esitetty määrällisiä arvioita salaojitetuilta pelloilta huuhtoutuvasta tyypestä ja fosforista, sekä vuosisadannan, maalajin ja viljakasvin vaikutuksesta peltojen ravinnepäästöihin.

## **Kuormitustaso Suomessa ja muissa Pohjoismaissa**

MAVEROn loppuraportissa (Rekolainen ym. 1992) on esitetty seuraavat keskimääräiset kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppihuuhtoumat (kg/ha/a) peltoalueilta eri Pohjoismaissa:

	<b>Fosfori</b>	<b>Typpi</b>
Suomi	0.9-1.8	8-20
Ruotsi	0.3-1.0	18
Norja	0.7-1.4	20-50
Tanska	0.2-1.6	55-70

Peltohehtaaria kohti arvioitu fosfo-

rikuormitus on Suomessa samaa luokkaa kuin Norjassa, mutta jonkin verran korkeampi kuin Ruotsissa ja Tanskassa. Typpikuormitus on sen sijaan Suomessa pienempi kuin muissa Pohjoismaissa.

Vuosina 1986-1990 toteutettiin muutamalla valuma-alueella tiheä virtaamapainotteinen näytteenotto, jonka antamat kuormitusluvut ovat kokonaisfosforin osalta samansuuruisia kuin edellä esitetty arvio. Sen sijaan typpikuormitus oli selvästi suurempi, eräillä alueilla jopa suurempi kuin aiemmin havaittu ylin pelloilta tuleva kuormitus 20 kg/ha/a (Rekolainen ym. 1992).

## **Maankuivatuksen vaikutus maaperän typen ja fosforin taseisiin**

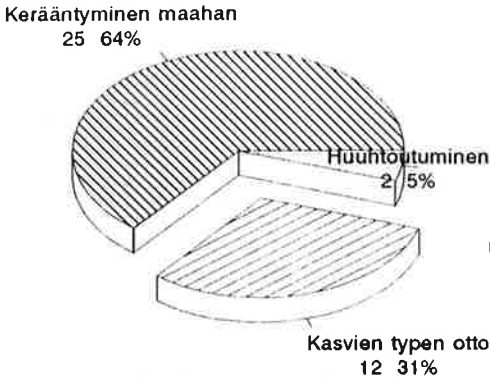
Kuvassa 2 on esitetty peltojen keskimääräiset vuotuiset fosfori- ja typpitaseet.

### **Typen kierto**

Typpi on yksi tärkeimmistä sadonmuodostusta säätelevistä tekijöistä. Sen määrällä voidaan vaikuttaa sekä sadon laatuun, että määrään. Typpi esiintyy maassa orgaanisina ja epäorgaanisina yhdisteinä. Epäorgaanisista muodoista vesiliukoisia ovat nitraattityppi ( $\text{NO}_3^-$ ) ja ammoniumtyppi ( $\text{NH}_4^+$ ). Maankuivatuksella voidaan vaikuttaa kaikkiin tärkeimpiin typen kierron prosesseihin.

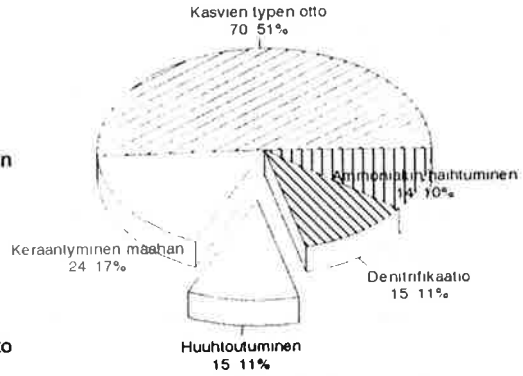
## FOSFORI

### KASVUKAUDEN RAVINNETASE kg/ha



## TYPPI

### KASVUKAUDEN RAVINNETASE kg/ha



Kuva 2. Kasvukauden ravinnetase fosforin ja typen osalta (Rekolainen ym. 1992).

**Mineralisaatiossa** maan orgaaninen typpi hajoaa mikrobitoiminnan vaikutuksesta ammoniumtypeksi, joka on edelleen kasvien käytettävissä. Typpilannoitusta voidaan pienentää, jos mineralisaatio on tehokasta. Mineralisaatio on voimakkainta kuivassa ja lämpimässä maassa, eli hyvin toimivalla salaojituksella voidaan lisätä maan luontaisten typpivarojen hyödyntämistä. Säättösalojituksessa on siis varottava pohjavedenpinnan pitämistä liian lähellä maan pintaa, ettei mineralisaatio hidastuisi. Sopiva pohjavedenpinnan syvyys maanpin-

nasta lukien on ulkomailla tehtyjen tutkimusten mukaan n. 40 - 70 cm.

**Nitrifikaatiolla** tarkoitetaan ammoniumtypen hapettumista nitraattitypeksi. Nitrifikaatiobakteerit ovat aerobisia, eli maassa täytyy olla riittävä määrä happea ennenkuin nitrifikaatiota voi tapahtua. Mitä kosteampaa maa on, sitä vähemmän siellä on vapaita huokosia ja sitä pienempi on happipitoisuus. Nitrifikaatio ei ole pelkästään hyödyllinen prosessi, sillä nitraattityppi on vesiliukoinen ja alttiina huuhtoutumiselle. Ammoniumtyppi puoles-

taan pidättyy helposti maassa oleviin kationinvaihtopaikkoihin (esim. savipartikkelien pinnat), eikä näin ollen huuhtoudu niin helposti. Syysviljojen lannoitteisiin lisätään mm. Kanadassa (Yadvinder-Singh ja Beauchamp, 1988) kemikaalia (dicyandiamidi DCD), joka estää syksyllä nitrifikaation ja parantaa lannoitteen hyväksikäyttöä pienentämällä sekä huuhtoutumista, että denitrifikaatiota. Myös Suomessa vastaavaa on kokeiltu mm. lisäämällä lietalantaan nitrifikaation estävää kemikaalia.

**Denitrifikaatiossa** nitraattityppi muuttuu välivaiheiden kautta kaasumaiseksi ja haihtuu ilmakehään. Denitrifikaation perusedellytyksenä ovat hapettomat tai vähähappiset olosuhteet. Maan kosteuden lisääntyessä hapen diffuusio maahan vähenee ja denitrifikaatio lisääntyy. Hapellisissa olosuhteissa denitrikaatiota ei käytännössä esiinny. Maan vesitaloutta säätelemällä voidaan denitrifikaatio estää kasvukauden aikana ja sitä voidaan edistää muulloin. Säättösalaojituksella voidaan lisätä denitrifikaatiota erityisesti syksyllä kasvukauden jälkeen pitämällä pohjavedenpinta juuristokeroksessa ennen lumen tuloa.

**Typi huuhtoutuu** pääasiassa vesiliukoisena nitraattina, joten valunnan vähentäminen vähentää yleensä myös huuhtoutuvan nitraattitypen määrää. **Kasvien typen ottoa** voidaan myös säädellä maankuivatuk-sella. Liian kuivassa maassa kasvi-

en typen otto hidastuu, joten säättösalaojituksella on mahdollista luoda kasvien kasvun kannalta edullisemmat olosuhteet erityisesti kuivina kesinä.

### Fosforin kierto

Maaperän fosforin kierto poikkeaa oleellisesti typen kierrosta. Maaperän liukoinen fosfori pidättyy nopeasti maahiukkasten pinnoille, eikä helposti huuhtoudu vesiliukoisessa muodossa. Vesiliukoisesta ja maahiukkasten pinnoille pidättyneen fosforipitoisuuden välillä on ns. tasapainoreaktio. Kun maakerrokseen syötetään liukoista fosforia, osa siitä pidättyy välittömästi maahiukkasten pinnoille. Jos liukoisesta fosforin syöttöä jatketaan tarpeeksi kauan, maaperän fosforin adsorptiokyky pienenee ja lähestytään hyljälleen tilannetta, jossa maakerrokseen tulevan liukoisesta fosforin pitoisuus on sama kuin maakerroksesta poistuvan fosforin pitoisuus. Tämänäyttypisiä fosforin pidätyskymmittauksia on tehty mm. TKK:n vesitalouden laboratoriossa (Vääriskoski ym. 1989). Hietamaalla tehtyjen tulosten mukaan maan adsorptiokapasiteetti on käytetty loppuun, jos fosforia annetaan n. 300-400 kg/ha vastaava annos (1 m:n kerros maata). Suomessa fosforin ylilannoitus on esim. 70- ja 80 luvulla ollut jopa 25 kg/ha/a, eli 12-16 vuoden ylilannoituksen seurauksena fosforin adsorptiokapasiteetti olisi ko. hietamaalla käytetty loppuun ja liukoisesta fosforihuuhtouman dra-

maallinen lisäys olisi mahdollinen.

Pääosa fosforin kokonaishuuttoumasta tulee vielä nykyisin eroosion myötä, kun maahiukkasten pinnoille pidättynyt fosfori vapautuu liukoiseen muotoon itse purkuvesistöissä eroosioaineksen sekoittuessa suureen määrään vettä.

Maankuivatuksella voidaan vaikuttaa fosforihuuttoumiin pääasiallisesti pintavaluntaa pienentämällä, jolloin myös eroosion määrä ja fosforikuormitus alenevat.

## **Säädön vaikutus ravinteiden huuttoutumiseen**

### **Kokeet Pohjois-Karolinassa**

Yhdysvalloissa tehtiin vuosina 1983-1984 kokeellinen tutkimus säättösalaojituksen ja padotuskastelun vaikutuksesta ravinnehuuttoumiin (Evans ym. 1989). Kokeet tehtiin viidellä tilalla P-Karolinassa. Kuivatusvaihtoehtoja oli kokeissa mukana kuusi: avo-ojitus, säätöojitus avo-ojitetulla pellolla, salaojitus, säätösalaajitus, padotuskastelu avo-ojitetulla ja padotuskastelu salaojitetulla pellolla. Tulosten mukaan säätöojitus pienensi kokonaisvalumia keskimäärin 40 % sekä avo-, että salaojitetuilla lohkoilla.

Evansin ym. (1989) mukaan säädön ei sen sijaan todettu vaikuttaneen merkittävästi pelloilta purkautuvan veden pitoisuuksiin. Nitraattikon-

sentraatiot olivat salaojitetulla pelloilla hieman korkeammat kuin avo-ojitetulla pellolla, kun taas kokonaistypen ja kokonaisfosforin konsentraatiot olivat avo-ojitetuilla lohkoilla suuremmat. Vaikka purkautuvan veden konsentraatio ei oleellisesti muuttunutkaan säädön vaikutuksesta, niin kokonaiskuormitus pelloilta aleni radikaalisti valumien pienentyessä. Säätöojitus pienensi kokonaistypen huuttoutumista 15:sta kg/ha/a arvoon 8 kg/ha/a eli n. 46 %. Kokonaistypen huuttoutuminen oli salaojitetulla pellolla n. 30 % suurempi kuin avo-ojitetulla lohkoilla. Kokonaisfosforin huuttouma oli puolestaan n. 20 % suurempi avo-ojitetulla pellolla. Säätö pienensi kokonaisfosforin huuttoumia sekä sala- että avo-ojitetulla pellolla keskimäärin n. 44 %.

DRAINMOD-mallilla tehtyjen laskelmien mukaan (Evans ym. 1989), säätö pienensi sekä valumia, että huuttoutuvia ainemääriä kaikilla maalajeilla. Säädön ei myöskään todettu vaikuttaneen pohjaveden nitraattipitoisuuksiin.

### **Padotus/säätösalaajituskoel Iowassa**

Iowan yliopisto perusti v. 1988 kokeen, jossa tutkitaan padotuksen/säätösalaajituksen ja ravinteiden kierrätyksen vaikutus viljakasvien satoon ja peltoalueiden ravinteiden huuttoutumiseen (Melvin ja Kanwar, 1991; Kalita ym., 1992; Kalita ja Kanwar 1992). Kyseessä

on ensimmäinen sovellutus ravinteiden kierrätykseen suunnitellusta ns. kaksikerrosojituksesta, jossa kuivatusojat on sijoitettu normaaliin syvyyteen ja kastelu tapahtuu erillisillä, lähelle maanpintaa sijoitetuilla kasteluojilla. Kasteluun tarkoitetut ojat ovat samansuuntaisia kuin kuivatusojat ja ne on asennettu kuivatusojien puoliväliin. Kokeen tarkempi analyysi on esitetty tämän julkaisun viimeisessä artikkelissa.

Iowaan 1988 perustetun kokeen tulokset ovat osoittaneet, että padotuskastelulla ja säätösaloajituksella voidaan pienentää nitraattitypen ja kasvinsuojeluaineiden (atrasiniin) pitoisuuksia maaperässä. Tutkimuksessa kokeiltiin kolmen eri padotustason vaikutuksia maaperän nitraatti- ja atrasiinipitoisuuksiin. Käsittelyssä 1) pohjavedenpinta oli 1.0-1.6 m:n syvyydellä maanpinnasta, käsittelyssä 2) 0.35-1.1 m:n ja käsittelyssä ja 3) 0.12-0.8 m:n etäisyydellä maanpinnasta. Tulosten mukaan käsittelyssä 3) nitraattipitoisuudet maaperässä olivat jatkuvasti alhaisemmat kuin käsittelyissä 1) ja 2), eli pohjavedenpinnan pitäminen lähellä maanpintaa alensi maaveden nitraatti- ja torjunta-ainepitoisuuksia kaikkina tutkimusvuosina.

Maaveden nitraattipitoisuuksia mitattiin 1.2, 1.8 ja 2.4 m:n syvyyksille asennetuista pohjavesiputkista. Putket pumpattiin tyhjiksi päivää ennen näytteenottamista. Käsittelystä riippumatta maaveden nitraatti-

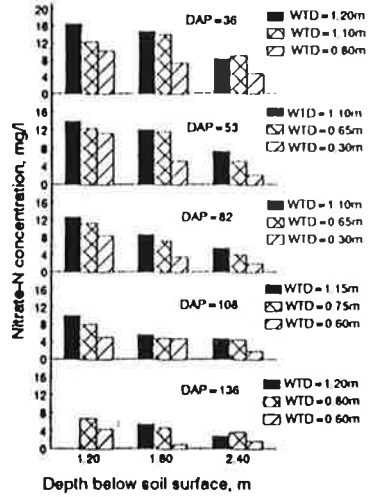
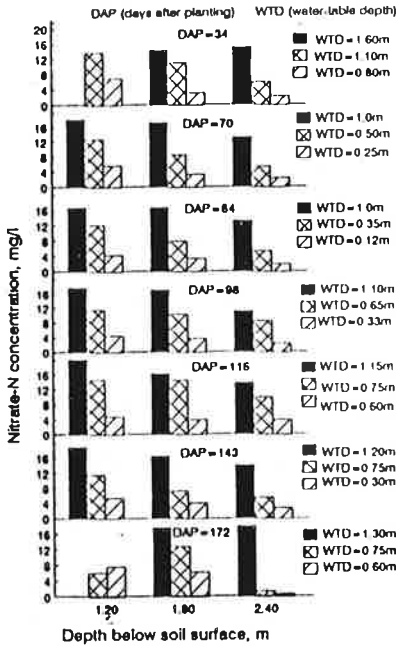
konsentraatio pieneni näytteenotossyvyuden kasvaessa. Kokeiden tärkeimmät tulokset on esitetty kuvassa 3.

Käsittelyssä 1) (pohjavedenpinta syvällä) 1.2 m:n syvyyteen sijoitetusta putkesta otettujen näytteiden nitraattikonsentraatio vaihteli 17 ja 20 mg/l välillä, käsittelyssä 2) 8 ja 15 mg/l välillä ja käsittelyssä 3) (pohjavedenpinta lähimpänä maanpintaa) konsentraation vaihteluväli oli 2.5 - 7 mg/l. Syvemmistä pohjavesiputkista otetuissa näytteissä nitraattipitoisuus oli alhaisempi, mutta käsittelyjen vaikutus oli sama, eli säätösaloajitus/padotuskastelu, jossa pohjavedenpinta pidettiin lähimpänä maanpintaa, pienensi maaveden nitraattikonsentraatioita.

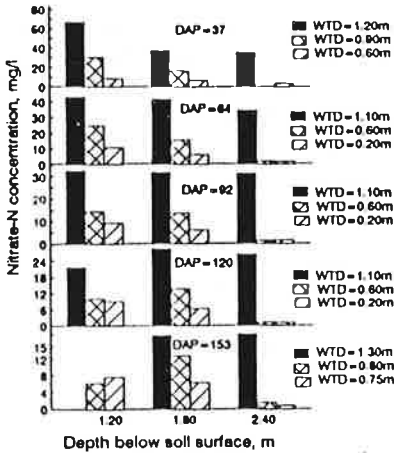
Nitraattitypen pitoisuudet olivat korkeampia maan kyllästymättömyydessä vyöhykkeessä, eli pohjavedenpinnan yläpuolella. Lisääntynyt denitrifikaatio lienee tärkein syy nitraattitypen vähentyneeseen määrään matalassa padotustasossa.

Torjunta-aineiden pitoisuuksien osalta (kuva 4) tulokset olivat täsmälleen samansuuntaiset kuin nitraattipitoisuusmittauksissa. Pitoisuudet pienenivät syvyyden kasvaessa kaikilla kolmella käsittelyllä. Pohjavedenpinnan pitäminen lähellä maanpintaa (käsittely 3) alensi atrasiinikonsentraatioita verrattuna tilanteeseen, jossa pohjavedenpinta pidettiin 1.0-1.6 m:n syvyydellä.

1989

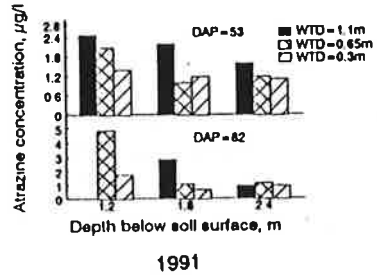
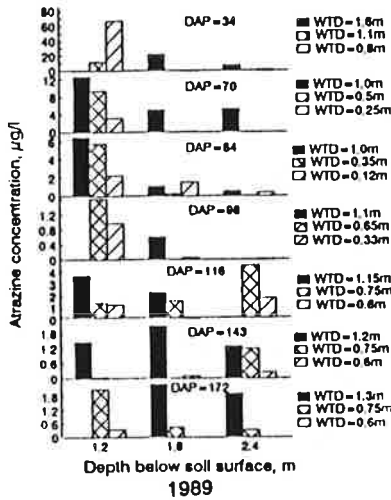


1991



1990

Kuva 3. Säättösalaajitus- ja padotuskastelukokeen tuloksia Iowasta. Syvin pohjavesitaso mustalla, keskimääräinen ristiviivoituksella ja matalin valkoisella.



Kuva 4. torjunta-ainepitoisuudet (atrasiiini) eri syvyyksillä ja eri käsittelyissä.

## Huuhtoumat salaojitetuilta pelloilta eri ilmasto-oloissa

Tämän artikkelin liitteenä on esitety mitattuja kuormitustietoja salaojitettujen peltojen ravinnehuuhtoumista sekä Suomen ilmastoa muistuttavissa olosuhteissa (lähinnä Ruotsi ja Kanada), että lämpimämissä ja sateisemmissä olosuhteissa tehtyjä tutkimuksia. Erityisesti maalajin ja viljakasvin vaikutus huuhtoumiin on kiinnostuksen kohteena. Yksityiskohtainen tulosten tulkinta jää lukijan tehtäväksi ja seuraavassa on esitelty vain muutamia tärkeimpiä johtopäätöksiä, jotka artikkeleiden perusteella voidaan laatia.

Kjettslingessä, Ruotsissa tehdyt kokeet (Bergström 1987, liitteen koenumero 3) osoittavat, että sekä vuosien välinen vaihtelu, että viljakasvin vaikutus ovat selvästi suuremmat kuin typpilannoituksen vaikutus huuhtoumiin. Kauralla (käsittelyt 1 ja 2) typen huuhtoutuminen vaihteli 1.0-22.5 kg/ha/a kun typpeä ei annettu ollenkaan ja 0.2-26.9 kg/ha/a, kun typpeä annettiin 120 kg/ha. Huuhtoutuminen nurmipintaiselta kesannolta (grass ley, käsittely 3) oli vain 0.2-17.4 kg/ha/a, vaikka lannoitteena annettiin yhteensä 200 kg N/ha.

Säätösalojituksen kannalta kiinnostava tutkimus on tehty Englannissa viljakasvin ollessa syysvehnä (Addiscott ja Powlson 1992, liitteen koe 4). Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään lannoitetypen häviöiden ja

kautuminen huuhtoutumiseen ja denitrifikaatioon. Tulosten mukaan denitrifikaation aiheuttama häviö oli keskimäärin 2/3 kokonaishäviöstä ja huuhtoutumisen osuus vain kolmannes.

Boltonin ym. (1970, liitteen koe 5) mukaan maan lannoitustason (0 tai 336 kg N/ha/a) vaikutus nitraattihuuhtoumiin oli yllättävän pieni. Suurin syy siihen oli se, että kuorimitukseen vaikutti enemmän salaajien kautta purkautuneen veden määrä kuin purkautuvan veden pitoisuus. Hyvin lannoitetulla pellolla kasvusto oli tiheämpää, mikä lisäsi haihduntaa ja pienensi kokonaisvaluntaa. Tämänkin kokeen tulokset osoittavat selvästi kuinka tärkeää on säädellä maan vesi- ja ravinnetaloutta kasvin kannalta optimaalisella tavalla.

## Kirjallisuutta\*

Addiscott, T.M. and Powlson, D.S. (1992). Partitioning losses of nitrogen fertilizer between leaching and denitrification. *J. of Agric. Science*, Vol 118, p. 101-107. (4).

Baker, J.L. and Johnson, H.P. (1981). Nitrate-nitrogen in tile drainage as affected by fertilization. *J. of Environmental Quality*, Vol 10, No. 4, p. 519-522. (8).

Barisas, S.G., Baker, J.L., Johnson, H.P. and Lafflen, J.M. (1978). Effect of tillage systems on runoff losses of nutrients, a rainfall simulation study. *Transactions of the ASAE*, Vol. 21, No. 5, p. 893-897. (6).

Bengtson, R.L., Carter, C.E., Morris, H.F. and Bartkiewicz, S.A. (1988). The influence of subsurface drainage practices on nitrogen and phosphorus losses in a warm, humid climate. *Trnsactions of the ASAE*, Vol. 31, No. 3, p. 729-733. (2).

Bergström, L. (1987). Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeters. *J. Environ. Qual.*, Vol 16, No. 1, p. 11-18. (3).

Bolton, E.F., Aylesworth, J.W. and Hore, F.R. (1970). Nutrient losses through tile drains under three cropping systems and two fertility levels on a Brookston clay soil. *Canadian J. of Soil Sci.*, Vol. 50, No. 3, p. 275-279. (5).

Bottcher, A.B., Monke, E.J. and Huggins, L.F. (1981). Nutrient and sediment loadings from a subsurface drainage system. *Transactions of the ASAE*, Vol. 24, No. 5, p. 1221-1226. (12)

Campbell, K.L., Rogers, J.S. and Hensel, D.R. (1985). Drainage water quality from potato production. *Transactions of the ASAE*,

\* Viitteen perässä oleva numero viittaa taulukkojen koepaikan numeroon



Vol. 28, No. 6, p. 1798-1801. (9)

**Deal, S.C., Gilliam, J.W., Skaggs, R.W. and Konyha, K.D. (1986).** Prediction of nitrogen and phosphorus losses as related to agricultural drainage system design. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 18, p. 37-51.

**Dowdell, R.J., Colbourn, P. and Cannell, R.Q. (1987).** A study of mole drainage with simplified cultivation for autumn-sown crops on a clay soil. 5. Losses of nitrate-N in surface runoff and drain water. *Soil&Tillage Research*, 9, p. 317-331. (22).

**Evans, R.O., Gilliam, J.W., Skaggs, R.W. and Lemke, W.L. (1987).** Effects of agricultural water management on drainage water quality. In *Proceedings of Fifth National Drainage Symposium*, pp. 210-219. ASAE, St. Joseph, MI.

**Evans, R.O., Gilliam, J.W. and Skaggs, R.W. (1989).** Effects of agricultural water table management on drainage water quality. Raleigh, Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, Report N:o 237, 87 p.

**Evans, R.O., Westerman, P.W. and Overcash, M.R. (1984).** Subsurface drainage water quality from land application of swine lagoon effluent. *Transactions of the ASAE*, Vol. 27, No. 2, p. 473-480. (10).

**Fitzsimmons, D.W., Lewis, G.C., Naylor, D.V. and Busch J.R. (1972).** Nitrogen, Phosphorus and other inorganic materials in waters in a gravity-irrigated area. *Transactions of the ASAE*, Vol. 15, No. 2, p. 292-295. (19).

**Guitjens, J.C., Tsui, P-S. and Thran, D.F. (1984).** Quantity and quality variations in subsurface drainage. *Transactions of the ASAE*, Vol. 27, No. 2, p. 425-428. (11).

**Jacobs, T.C. and Gilliam, J.W. (1985).** Riparian losses of nitrate from agricultural drainage waters. *J. of Environmental Quality*, Vol 14, No. 4, p. 472-478. (7).

**Jensen, E.S. (1992).** The release and fate of nitrogen from catch-crop materials decomposing under field conditions. *J. of Soil Sci.*, Vol 43., p. 335-345. (20).

**Kalita, P.K. and Kanwar, R.S. (1992).** Shallow water table effects on photosynthesis and corn yield. *Transactions of the ASAE* 35(1), pp. 97-104.

**Kalita, P.K., Kanwar, R.S. and Melvin, S.W. (1992).** Subirrigation and controlled drainage: Management tools for reducing environmental impacts of nonpoint source pollution. 6th International Drainage Symposium, Nashville, Tennessee, December 13-15, 1992. pp. 129-136.

**Kanwar, R.S., Baker, J.L. and Johnson, H.P. (1984).** Simulated effects of fertilizer management on nitrate loss with tile drainage water for continuous corn. *Transactions of the ASAE*, Vol. 27, No 5, 1396-1404. (24).

**Melvin, S.W., Kanwar, R.S. and Baker, D.G. (1990).** Evaluation of dual level subirrigation system. In *Proc. 3rd National Irrigation Symposium*, pp. 204-210., ASAE, St. Joseph, MI.

**Melvin, S.W. and Kanwar, R.S. (1991).** Environmental and economic impacts of a recycling subirrigation drainage system. *International Conference on Subirrigation and Controlled Drainage*. Lansing, Michigan, August 12-14, 1991 (manuscript).

**Rekolainen, S., Kauppi, L. ja Tur-tola, E. (1992).** Maatalous ja vesien tila. MAVEROn loppuraportti. *Luonnonvarajulkaisu* 15. Luonnonvarainneuvosto, Maa- ja metsätalousministeriö.

**Ritter, W.F., Scarborough, R.W. and Chirnside, E.M. (1990).** Soil nitrate profiles under irrigation on coastal plain soils. *J. of Irr. and Drainage Eng.*, Vol. 116, No. 6., p. 738-751. (13).

**Ritter, W.F., Scarborough, R.W. and Chirnside, E.M. (1991).** Nitrate leaching under irrigation on coastal plain soil. *J. of Irr. and*

*Drainage Eng.*, Vol. 117, No. 4, p. 491-500.

**Rossi, N., Ciavatta, C., and Antisari, L.V. (1991).** Seasonal pattern of nitrate losses from cultivated soil with subsurface drainage. *Water, Air, and Soil Pollution* 60: 1-10. (1).

**Schwab, G.O., McLean, E.O., Waldron, A.C., White, R.K. and Michener, D.W. (1973).** Quality of drainage water from a heavy-textured soil. *Transactions of the ASAE*, Vol 16., No. 6, p. 1104-1107. (18).

**Skaggs, R.W. (1980).** A water table management model for artificially drained soils. *Tech. Bulletin No. 267*. North Carolina Agricultural Research Service. N.C. State University, Raleigh, 54 p.

**Skaggs, R.W. (1987).** Design and management of drainage systems. In *Proceedings of Fifth National Drainage Symposium*, pp. 1-12. ASAE, St. Joseph, MI.

**Skaggs, R.W., and Gilliam, J.W. (1981).** Effect of drainage system design and operation on nitrate transport. *Transactions of the ASAE*, Vol. 24, No. 4, p. 929-934. (23).

**Smettem, K.R.J., Trugdill, S.T. and Pickles, A.M. (1983).** Nitrate loss in soil drainage waters in relation to by-passing flow and discharge on

an arable site. *J. of Soil Sci.*, Vol 34, p. 499-509. (15).

**Task Committee (1977).** Quality aspects of agricultural runoff and drainage. *J. of the Irrig. and Drainage Div.*, Vol. 103, No.4, p. 475-485.

**Willardson, L.S., Meek, B.D., Grass, L.B., Dickey, G.L. and Bailey, J.W. (1972).** Nitrate reduction with submerged drains. *Transactions of the ASAE*, Vol. 15, No. 1, p. 84-86. (16).

**Vääriskoski, J., Lindberg, K. ja Hissa, T. (1989).** Fosforin adsorptio. *Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden laboratorion monistesarja.*

no, paikka, viijelykasvi	maalaji, maan ominaisuudet	lannoitus kg/ha/y	sadanta ja kastelu mm/y	valunta mm/y	NO <sub>3</sub> -huuht. pit. mg/l, määrät	fosforihuuhtoumat mg/l ja kg/ha/y	muuta
1) Emilia-Romagna, P-Italia sokერიუ-rikas, talvivehna	hiekkä n.13 %, siltti 51 %, savi 36 % CaCO <sub>3</sub> 13 %, org. aine 0.6-1.2 %	150 N, 60 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	sade: 50-1500 m <sup>3</sup> /- ha/kk	pintaaja: 0-650 m <sup>3</sup> /ha/kk (liite 1/6)	pintaaja: pit. määrä -85 - 201 -86 128 398 -87 216 43 -88 94 -		
2) Baton Rouge, Louisiana maissi	Commerce clay loam, fine silty, mixed, thermic Aeric Fluvaquent	109 N 38 P 76 K	-81 1170 -82 1425 -83 1811 -84 1161 -85 1528 -86 1355	poja soja pv 192 122 258 247 260 368 466 563 778 150 199 208 337 332 457 289 286 470	määrät poja soja pv 2.0 1.2 3.1 2.5 1.5 4.9 12.7 5.7 26.1 0.9 0.4 0.8 5.1 0.8 5.8 1.5 1.2 3.0	määrät poja soja pv 0.4 0.0 0.8 3.1 0.3 5.0 7.0 0.5 9.3 3.0 0.3 6.5 10.8 0.6 16.2 13.3 0.3 6.7	ka.kulkeut. kg/ha/y poja soja pintav 412 78 592 2588 264 3582 5470 718 7198 1495 290 2698 5162 512 10013 3574 326 5563
3) Kjettsin-gc, K-Ruotsi 4-vaiheinen koejärjestely 1) kaura 2) kaura 3) grass ley 4) lucerne	clay loam (0-0.27m), hieno hiekkä (0.27-0.75m), savi (0.75m-) pinnassa: pH 6-6.5, savea 15-20%, 22 g orgC/kg	tyyppiä: 1) - 2) 120 3) 120+ 80 4) -	-81 666 -82 453 -83 546 -84 636	saliaoja : 1) -81 305 -82 198 -83 42 -84 164 2) -81 205 -82 202 -83 4 -84 137 3) -81 157 -82 110 -83 3 -84 62 4) -81 116 -82 93 -83 0 -84 65	saliaoja: pit. määrä 1) 5-17 22.5 2.5 7.4 1.4 1.0 0.5 2.8 2) 1-17 26.9 4.8 13.7 2.5 0.2 1.7 7.6 3) 8-16 17.4 2.5 4.6 1.5 0.2 6-18 7.1 4) 3-18 8.2 4-12 5.6 8 0.0 1-6 2.4	maavesi pit. mg/l NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> kokN 1) 0.025 0.73 1.72 (1.7m) (4.0m) 2) 0.033 0.49 0.94 (1.9) 0.020 0.03 0.26 (5.5m) 3) 0.019 2.51 2.86 (2.2m) 0.061 0.12 0.43 (4.8m)	

no, paikka, viljelykasvi	maailaji, maan ominaisuudet	lannoitus kg/ha/y	sadanta ja kas- telu mm/y	valunta mm/y	NO <sub>3</sub> -huuhtoutumat (pit. mg/l, määrät kg/ha/y)	fosforihuutoutumat (pit. mg/l, määrät kg/ha/y)	muu- ta
4) Englanti, syysvehnä		tyyppiä (kg/ha):			lannoitetyypin häviöt (%):		
Rothamsted	Batcombe	47-182	12		kok huutt denitriif		
"	"	49-196	53		11-16 0 11-16		
"	"	143	21		16-24 4-8 8-20		
"	"	151	74		9 2 7		
"	"	194	62		26 7 19		
"	"	114 & 231	40		26 3 23		
"	"	59-234	8		7-12 2 5-10		
"	"	207	68		1-7 1 0-6		
"	"	206	4		4 1 3		
Saxmundham	Beccles	142	62		26 1 25		
"	"	143	114		35 23 12		
"	"	150	12		8 2 6		
"	"	142	70		19 21 0		
"	"		19		9 7 2		
5) Woodilee, Ontario	Brookston clay	0/336 (5-20-10 lannoite) + maissi 112 N			salaoja: määrät	salaoja: määrät	
kierto: maissi					ei lann.	ei lann.	
ohra + alfalfa					5.6	0.13	lann. 0.24
alfalfa (1.v)					4.3	0.13	0.13
alfalfa (2.v)					4.8	0.13	0.15
alfalfa (2.v)					4.7	0.08	0.22
jatkuva: maissi					6.6	0.26	0.29
bluegrass sod					0.3	0.01	0.12
6) Iowa maissi	Ida silt loam, Tama silt clay loam, Kenyon sandy loam	pH savi 7.5 22 6.3 25 6.5 16	165 N 67 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	simuloi- tu: 89 mm + 64 mm + 64 mm	NO <sub>3</sub> - ja NH <sub>4</sub> -määrät pintavalunnassa : 0.3 - 2.4 ja 0.1 - 3.3 kg/ha	PO <sub>4</sub> -määrä pintavalunnassa : 0.05 - 0.35 kg/ha (liite 9/2 fig.1)	

no, paikka, viljelykasvi	maalaji, maan ominaisuudet	lannoitus kg/ha/y	sadanta ja kastelu mm/y	valuunta mm/y	NO <sub>3</sub> -huuhtoumat (pit. mg/l, määrät kg/ha/y)	P-huuh. pit. mg/l, määrät kg/ha/y	muuta
7) Coastal plain, P-Karoliina viljaa vihanneksia viljaa ja vih. viljaa viljaa	Typic Paleudults " " " " Aquic Hapla-dults Aeric Paleaquits	salaajat a) b) 250 100 0 0 240 90 0 0 90 90	947 772 600 943 887	soja pinta 216 100 163 78 128 224 371 19 2-20 520-432 1-5 493-490 1 493	NO <sub>3</sub> pit. määrä soja pinta soja pinta 7.9 0.9 17.1 0.9 7.3 1.3 11.9 1.0 7.7 1.7 9.9 3.8 14.8 1.2 54.9 0.3 0.3 1.6 <0.1 6.9-8.4 0.3 1.2 <0.1 5.9 0.6 2.5 <0.1 12.5		NO <sub>3</sub> -pit. pelto 4 pohjav. 5.4-16.4 pinta- 3.3-8.7
8) Ames, Iowa -74 maissi -75 soijapapu -76 maissi -77 kaura -78 maissi	Webster silt loam kaltevuus < 2 %	salaajat a) b) 250 100 0 0 240 90 0 0 90 90	947 772 600 943 887	a) b) 181 216 146 167 84 93 109 90 101 114	pit. määrä a) b) a) b) 17.3 14.9 31.3 32.3 49.1 24.2 71.6 40.4 37.9 23.0 31.9 21.4 61.4 20.0 67.2 18.0 37.0 18.6 37.6 21.1		
9) Hastings, Florida peruna	hiekkä	225 kgN/ha ja 196 kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	kesk 1157 mm/y	soja pinta (mm) 324 372 90	pitoisuudet: soja pinta- 0-4 0-6.3 pinta- 0-7	PO <sub>4</sub> -pit: soja poja 0-0.15 0-0.7 pintav. 0-17	
10) Clayton, P-Karoliina ruohoa (coastal bermuda grass)	Norfolk sandy loam (fine loamy, siliceous, thermic, Typic paleudult)	3 repli- kaattia tyyppä: 325 650 2191 1300	kesk 1157 mm/y 2807 2400 2191 (mm/- tarkkailu- J.)	salaaja pinta 712 18 153 14 546 14 (mm/tarkkailu- jakso)	salaaja pit. pinta- val. määrä N NO <sub>3</sub> IKN 30 2.1 23 21 2.0 10 7 1.9 5	soja pinta- pit määrä 0.5 8 0.2 3 0.3 2	
tarkkailujakso: kesäkuu 1977- helmikuu 1979	kaltevuus 0-3 %						

no, paikka, viljelykasvi	maailaji, maan ominaisuudet	lannoitus kg/ha/y	sadanta ja kas- telu mm/y	valunta mm/y	NO <sub>3</sub> -huuhoutumat (pit. mg/l, määrät kg/ha/y)	muuta
11) ? -79 kevätevehnä -80 talvivehänä -81 alfalfa	?		-79 965 -80 1245/914 -81 1520		pit. salaajissa: Kj-N NO <sub>3</sub> - 0.1 - 6-19	PO <sub>4</sub> pit. salaaj. - - 0.3 - 1.5
12) Woodburn, Indiana -76 vehnä, soijapapu -77 maissi -78 soijapapu, vehnä	95% Hoyrville silty clay, 5% Nappanee silt loam kaltevuus < 1%		-76 660 -77 980 -78 660	12 120 99	salaajista määrät pit. NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub> 5.6 0.01 0.68 0.01 12.0 0.32 14.0 0.32 4.9 0.11 4.8 0.11	kiintoaine salaajista kg/ha: pit. määrä 170 21 98 120 140 140
13) Coastal Plain, P-Karoliina maissi	Sassafras sandy loam org. aines 0.6-1.5 % (enemmän liitteessä 16/1, table 1)	tyyppi: -84 336 -85 336 -86 224 -87 224	151 146 91 160			kokN pitoisuudet pohjavedessä: ei lann. lann. 5-13 4-12 4-28 8-67 14-32 18-43 9-24 13-24
14) Whitwell Wood, Englanti pyökki	Elmton (loamy, 2.5 % orgC) ja Aberford (fine loamy tai fine silty, 2.4 % orgC) se- ries kaltevuus 10-15%		0-10 mm/h	0-640 cm <sup>3</sup> /h	pitoisuus pintaajassa: NO <sub>3</sub> 11-13	muuta pit: Ca <sup>2+</sup> 150-220 Mg <sup>2+</sup> 115-255 K <sup>+</sup> 9-19 Na <sup>+</sup> 10-16 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 6-15 SiO <sub>2</sub> 4-7
15) Sandbeck, Englanti talvivehänä	Aberford ja Brabham series, clay loam (sa- vea 20-28%, pH 7.3-7.5, orgC 0.7-2.5 %, CaCO <sub>3</sub> 1.0-9.5 %, kaltevuus 2-5')	yht. 273 kgNO <sub>3</sub> /ha/y	yht. 185 mm- /tarkkailu- jakso	3-37 l/s	pitoisuus pintaajassa: 1-20	

no.paikka, vijelykasvi	maalaji, maan ominai- suudet	lannoitus kg/ha/y	sadanta ja kastelu mm/y	valunta mm/y	NO <sub>3</sub> -huuht. (pit. mg/l, määrät kg/ha/y)	P-huuh- t. Pitmg/l määrät kg/ha/y	muuta
16) San Joa- quin Valley, Kalifornia durra	Pa- noche silty clay	112 kgNH <sub>4</sub> /ha			pitoisuudet salao- jassa: 262-313		NO <sub>3</sub> -pit. maaliuoksessa (soil solution): 86-180 (1.4 m) 364-580 (1.8 m) 862-1006 (2.3 m) 560 (2.7 m)
17) Springfield, Nebraska lysymetrejä pengereytilä laidunmaalla	Peorian loess kalte- vuus 6 %		0-56 mm/d, yht. 1011 mm/tarkas- telujakso (13 kk)				NO <sub>3</sub> -pit. maavedessä (soil water) eri syvyyk- sillä maavedessä: 120-160 (1 m) 40-120 (3 m) n.5 (8 m) maaliuoksessa (soil solu- tion): 0-72 (1 m) 0-40 (2 m) 5-40 (4 m) 0-5 (6 m) 10-40 (8 m) 5-15 (10 m)
18) Sandusky, Ohio maissi	Toledo silty clay pH 6.7- 7.1	N P -69 232 34 -70 177 49 -71 121 34	kasvukau- della: -69 919 -70 744 -71 604	muokattu maa: 130 (salaoja) 117 (pintaaja) muokkaama- ton: 142 (salaoja) 97 (pintaaja) pintavaltuna: -69 130 -70 117 -71 142	määrät: 20.3 21.1 16.0 14.1 -69 17.9 -70 35.2 -71 10.1	määrät: 0.6 4.7 0.7 1.6 -69 1.1 -70 9.0 -71 1.1	kiintoaine kg/ha/y: 1139 1441 259 269 -69 2128 -70 1736 -71 616



no, paikka, viljelykasvi	maailji, maan ominaisuudet	lannoitus kg/h-a/y	sadanta ja kastelu mm/y	valunta mm/y	NO <sub>3</sub> -huuhtoutumat (pit. mg/l, määrät kg/ha/y)	P-huuhtoutumat (pit. mg/l, määrät kg/ha/y)	muuta
19) The Boise Valley, Idaho					<p>pintavalunnan pit: NO<sub>3</sub> NH<sub>4</sub> orgN 1.21 2.02 1.88 pintaajien pit: 3.19 0.87 1.16 pohjaveden pit: 4.92 0.35 0.73 salaajien pit: 2-6</p>	<p>pintavalunnan pit: orto-P kok-P 0.18 2.39 pintaajien pit: 0.12 0.67 pohjaveden pit: 0.11 0.58</p>	<p>kiintoaine (total solids) mg/l pintavalunna: 1549 pintaaja: 586 pohjavesi: 420</p>
20) Riso, Tanska mikrolysimet-reissä tehty tutkimus	sandy loam (0-0.2m): 11.4% savea, 13.6% siltiä, 48.6% hienoa hiekkaa, 26.4% karkeaa hiekkaa, 1.1% C, 0.13% N, pH 6.9	tyyppiä yint. 87 (ruohona ja si- napina)		-87/-88 341 -88/-89 188 -89/-90 223 (mm/9 kk)	<p>lysimetrin läpi tulleista vesistä: pit. määrä 0-25 3.71<sup>a)</sup> 35-155 16.97 15-80 9.83 <sup>a)</sup> kg/ha/5 kk, muuten kg/ha/9 kk</p>		
21) Sum-merland, Ontario lysimet-reissä O-menapuita, pinta a) paljas, b) ruohoa	sandy loam (pinnassa hiekkaa 64 %, 1.5 m syvydessä 90 %)	tyyppiä: c) 162 d) 324	9 v tutki-mus: 1) 763 2) 728 3) 760 4) 1101 5) 928 6) 1141 7) 1459 8) 1750 9) 1086		<p>määrät salaajista eri käsittelyillä: a) b) c) d) 181 195 162 214 103 143 57 189 77 139 2 214 224 351 67 508 43 93 27 110 42 81 22 101 107 262 121 248 271 455 345 382 100 141 86 156</p>		

no, paikka, viljelykasvi	maalaji, maan ominaisuudet	lannoitus kg/ha/y	sadanta ja kastelu mm/y	valunta mm/y	NO <sub>3</sub> -huuhtoutumat (pit. mg/l, määrät kg/ha/y)	muuta
22) Oxon, Englanti 80-81 talvivehnä 81-82 talvivehnä 82-83 talvivehnä 83-84 talvikaura	non-calcareous clay (stagnogley, Denchworth series)	tyyppiä 149 173 139 240	440 550 740 490		määrät: myyrä- oja m 15.5 26.4 61.2 2.7 pinta- välunta m 9.8 1.2 3.0 0.4 svv. 0.25 2.7 2.9 2.2 0.06 pit. myyräojituksessa 80-81 0-65 81-82 0-45 82-83 7-60 83-84 0-38	
23) Wilming-ton, P-Karol. maissi-soijapapu -kierto SIMULONTI DRAINMOD-mall. salaajitus-järjestelyiden vaikutuksista huuhtoutumiin.	Typic Umbr-aqual	maissille: 60:60:60 N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O +120-130 N soijapavulle: 60 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ja K <sub>2</sub> O			Ojien sijoittamisen vaikutus kts. Skaggs and Gilliam 1981	
24) Boone, Iowa -70 maissi -72 soijapapu -73 maissi -74 soijapapu -75 soijapapu -76 maissi -78 maissi	Clarton-Webster maat	No <sub>3</sub> : 112 112 0 100 0 90 90	845 832 930 862 640 432 835	en- tettu 108 158 313 203 153 76 100	määrät: mitattu 14.9 40.9 50.0 30.1 38.5 20.9 20.6 ennustettu 18.5 29.9 57.7 38.5 31.9 16.4 19.0	Tulokset simuloitu Konwarin et al. malli- la (1984).

# SALAOJITUS JA TIETOKONEMALLIT

Tekn.tri Tuomo Karvonen, Suomen Akatemia, nuor. tutkija (HY)

## Johdanto

Viimeisten 10-15 vuoden aikana tietokone mallien käyttö salaojituksen suunnittelussa on lisääntynyt erityisesti USA:ssa, Hollannissa ja Tanskassa (Skaggs 1978, 1980; Feddes & al. 1978; Jensen 1983). Myös Suomessa malleja on jonkin verran kokeiltu mm. salaojituksen mitoitusperusteiden laadinnassa (Karvonen 1988). Tämän artikkelin tarkoitus on antaa lukijalle yleiskäsitys mallien käyttömahdollisuuksista salaojituksen suunnittelun apuvälineenä erityisesti Suomen olosuhteissa. Sen lisäksi tarkoitus on esitellä pääperiaatteet tunnetuimmista käytössä olevista tietokone malleista, joita ovat USA:ssa kehitetty DRAINMOD ja Hollannissa laadittu SWATRE. Edellä mainituista malleista on olemassa myös Suomen olosuhteisiin kehitetyt versiot.

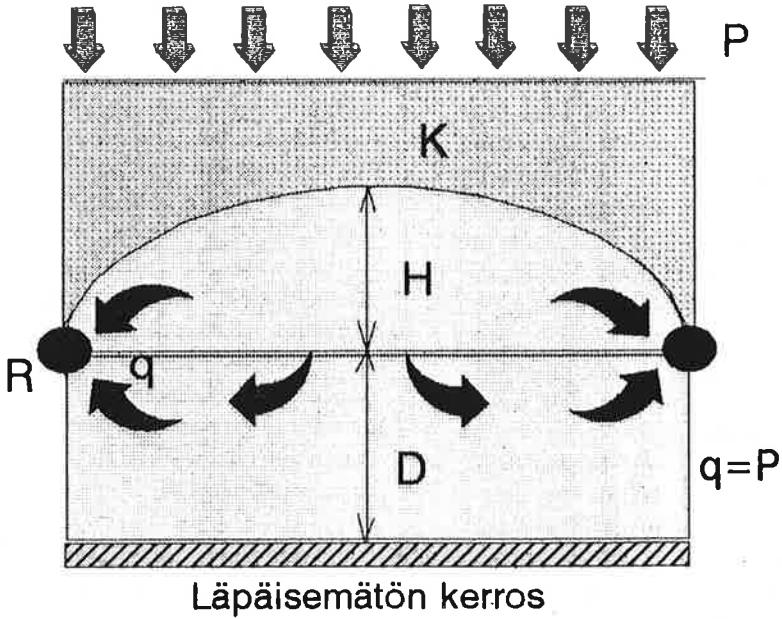
## Mikä ojaväli?

Niin kauan kuin suunnitelmallista salaojitustoimintaa on harjoitettu, on suunnittelijan ensimmäisiä tehtäviä maastotöiden jälkeen päättää mikä on imuojien eli peltoa kuivatavien ojien välinen etäisyys. Ongelmakenttä on Suomessa lähestyt-

ty pääasiassa hyvin käytännönläheisesti, pitkäaikaiseen kokemukseen nojautuen. Esimerkiksi Salaojakeskuksessa on eri maalajeille suositeltavaa ojaväliä vuosien saatossa pikku hiljaa joko nostettu tai laskettu sen mukaan, miten kyseisellä maalajityypillä tehnyt ojitukset ovat toimineet. Toinen mahdollinen syy systemaattiseen ojavälin tarkistamiseen on ollut viljelysuunnan muutos, jolloin esimerkiksi viljelyn tehostuminen on edellyttänyt aikaisempaa kapeampaa ojaväliä.

Ulkomailta, erityisesti USA:ssa ja Hollannissa on salaojituksen matemaattista teoriaa kehitetty jo 30-luvulta lähtien. Tavoitteena oli alunperin laatia yhtälöitä, joilla ojaväli voidaan laskea, kun maan vedenläpäisevyys  $K$ , salaojien välinen etäisyys  $L$ , pohjavedenpinnan etäisyys putken tasosta  $H$ , mitoitusvaluma  $q$ , etäisyys putken tasosta alapuolella olevaan rajoittavaan kerrokseen  $D$ , sekä putken halkaisija  $R$  tunnetaan. Kuvassa 1 on esitetty kaaviokuva ojavälin määrittämisestä ns. Hooghoudtin kaavaa käyttäen. Parhaimmin näistä kaavoista tunnetaan juuri Hooghoudtin kehittämä yhtälö, mutta myös Kirkhamin ja Ernstin kehittelemiä kaavoja on käytetty paljon.

PERIAATEPIIRROS/HOOGHOUDTIN KAAVA



Kuva 1 Hooghoudtin mitoitusmenetelmän merkinnät

Hooghoudtin menetelmä voidaan esittää kahdella kaavalla:

$$L^2 = \frac{8Kd_c H + 4KH^2}{q}$$

$$d_c = \frac{D}{1 + D/L \{ (8/\pi) \cdot \ln(D/r) - \alpha \}}$$

missä kertoimelle  $\alpha$  käytetään arvoa 3.40.  $d_c$  on ns. tehoisa etäisyys ojan pohjasta profiilin alareunaan. Tehoisa etäisyys vaikuttaa laskelmissa lähinnä salaojan koon ja

ympärysaineen vedenläpäisevyyden ja paksuuden kautta. Mitä suurempi putki ja mitä paksumpi ja paremmin vettä läpäisevä suodatin, sitä suurempi on tehoisa etäisyys.  $d_c$ :n kasvaminen merkitsee puolestaan sitä, että ojaväliä voidaan kasvattaa.

## Laskentaesimerkkejä

Hooghoudtin kaavoilla on laskettu teoreettinen ojaväli putkelle, jossa 1°) ei ole suodatinta, sekä normaalissa tapauksessa 2°), jolloin suodatin on soraa ja suodattimen paksuuden oletetaan olevan 50 mm. Sallittu padotus H on 70 cm ja putken säde 40 mm, etäisyys läpäisemättömään kerrokseen  $D = 1.0$  m ja mitoitusvaluma  $q = 1.0$  l/s/ha.

**Tapaus 1)** Vedenläpäisevyys  $K = 2$  cm/h (hietaa) : Ojaväli  $L = 17$  m ilman suodatinta ja 19 m suodattimen kanssa.

**Tapaus 2)**  $K = 0.4$  cm/h (savi) :  $L = 6$  m ilman suodatinta ja 8 m suodattimen kanssa.

**Tapaus 3)** Suodatin on kookoskuitua, paksuus 5 mm: jos  $K=2.0$  cm/h, niin  $L = 18$  m ja jos  $K=0.4$  cm/h, niin  $L = 7.5$  m. Soraa suodattimena käyttämällä voidaan siis hietamaalla valita 1 m suurempi ojaväli kuin esim. kookoskuitusuodatinta käytettäessä. Kokonaiskustannuksiin 1 m:n ojavälin pienennys vaikuttaa n. 5 %, jos

ojaväli on 19 m ja 10 %, jos käytetty ojaväli on 10 m.

**Tapaus 4)** Mitoitusvaluma  $q = 0.5$  l/s/ha: Jos  $K = 2.0$  cm/d, niin ojaväli on suodattimen kanssa 27 m ja jos  $K = 0.4$  cm/d, niin ojaväli on 11.5 m. Mitoitusvalumaa pienentämällä voitaisiin säästää kustannuksissa oleellisesti.

## Hooghoudtintarkastelutavan rajoitukset

Useimmat käytetyt kaavat perustuvat oletukseen, että salaojitetulla pellolla saavutetaan ns. tasapainotilanne, jolloin tuleva sadanta/sulanta on yhtä suuri kuin salaojien kautta purkautuva vesimäärä, eli pohjavedenpinta pysyisi vakioetäisyydellä maanpinnasta. Oletus ei tarkkaan ottaen pidä paikkaansa, mutta ennen tietokoneiden aikaa ei ollut mahdollista laskea todellisempaa tilannetta.

Menetelmän käytännön soveltamisen suurin este on kuitenkin tarvittavien lähtötietojen valinta todellisessa suunnittelutilanteessa. Esimerkiksi USA:ssa peltokuviot ovat suuria, jopa useita satoja hehtaareja, maalajit paljon homogeenisempia kuin Suomessa, joten mahdollisuudet soveltaa Hooghoudtin menetelmää ojavälin valinnassa ovat kokonaan toiset kuin meillä. Suomessa lohkot ovat pienikokoisia ja epäsäännöllisen muo-

toisia sekä maalajit epähomogeenisia. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että yhtä suunniteltavaa ojustoa kohden on käytettävissä niin vähän kenttätutkimusaikaa, että mm. vedenläpäisevyyden mittausta ei ole kustannussyistä mahdollista. Johtopäätöksenä edellisestä voidaan todeta, että todellisessa suunnittelu-tilanteessa Salaojakeskuksen käyttämä ojavälin mitoitusmenetelmä, joka perustuu pelkästään maalajiluokitukseen, on Suomen oloissa ainoa realistinen tapa valita imuojien välinen etäisyys.

Teoreettisia malleja voidaan sen sijaan käyttää vertailtaessa eri kuivatusmenetelmien keskinäistä paremmuutta, eli mallien avulla on mahdollista tarkistaa suunnittelu-perusteita. Todellinen hyöty malleista voidaan saavuttaa myös silloin, kun pelto on tehokkaassa viljelyssä (esim. erikoiskasvi), lohko on riittävän suuri (yli 5 ha) ja mallin avulla pyritään ohjaamaan kasteluvien syöttöä joko sadetus- tai padotuskastelussa. Tämän tyyppisiä alueita on mm. Pohjanmaalla, jossa maalajit ovat paikka paikoin hyvin vettä läpäiseviä ja maat hikeviä, eli kastelulla pystytään saavuttamaan todellisia hyötyjä.

## Tietokonemalleja kehitetään

70-luvun puolivälistä alkaen on erityisesti USA:ssa ja Hollannissa laadittu useita erityyppisiä tietokoneohjelmia, joissa veden liike

salaojitetulla pellolla pystytään tarkastelemaan ajasta riippuvana prosessina. USA:ssa kehitetty DRAINMOD (Skaggs 1978, 1980) on maailmanlaajuisesti eniten käytetty kuivatuksen suunnittelumalli. DRAINMOD perustuu oletukseen, että pelto saavuttaa kuivatustasapainotilan välittömästi sadannan jälkeen. Hollantilaisten koulukunta on kritisoinut tätä olettamusta vastaan ja kehittänyt mm. Feddesin & al. (1978) johdolla SWATRE-nimistä mallia, jossa oletus kuivatustasapainotilasta voidaan hylätä. Teoreettisesti tarkastellen hollantilaisten näkökulma on perustellumpi, mutta käytännön tarpeisiin DRAINMOD:n esittämä ratkaisu on useimmiten riittävän tarkka johtuen mm. käytettävissä olevien lähtötietojen epävarmuudesta.

Tietokonemalleja on kehitetty pääasiallisena tavoitteena arvioida viljelijän kannalta paras mahdollinen ojaväli, jossa ojituksen hyötyjen ja kustannusten erotus (voitto) on suurin mahdollinen. Karvonen (1988) on osoittanut, että ojavälin optimi riippuu paitsi viljakasvista ja satotasosta, myös lainarahan korkoprosentista.

Matemaattisiin malleihin uhratun tutkimuspanoksen olisi luullut vaikuttavan niin, että malleja käytetään myös todellisessa salaojituksen suunnittelussa. Valitettavasti näin ei ole kuitenkaan käynyt. Kirjoittajan tietämyksen mukaan malleja käytetään kansainvälisestikin vielä

varsin vähän edes suunnitteluperusteiden tarkentamisessa, saati sitten lohkohtaisessa ojavälin valinnassa. Syitä tähän on tietysti monia: lähtötietojen hankkimisen vaikeus, tutkijoiden oma asenne, suunnittelijoiden ennakkoluulot jne. Yleisesti ottaen tutkimuksen ongelma on se, miten tulokset saadaan vietyä käytäntöön. Tässä työssä tuntuu mallien kehittäjistä parhaiten onnistuneen Pohjois-Karolinan yliopiston professori R.W. Skaggs, jonka työryhmän aikaansaannoksena voidaan pitää myös säätösalaajituksen idean markkinoimista erityisesti ravinteiden huuhtoutumisen vähentämisessä (Skaggs and Gilliam 1981). Ajatus säädellä salaajista purkautuvia vesimääriä on sinänsä hyvin vanha, mutta sen on ajateltu perinteisesti vaikuttavan vain viljakasvien satoon.

## Suomalaisilla välittäjän rooli

Aiemmin todettiin jo, että salaajitusmallien kehittämisessä on olemassa kaksi koulukuntaa: DRAINMOD-mallin (Skaggs 1978, 1980) kannattajat ja teoreettisesti perustellumpiin malleihin luottavat (Feddes et al. 1978). Suomalaisilla on ollut onnellinen asema toimia kahden koulukunnan välisessä maastossa: ottaa molemmilta se, mikä tuntuu sopivan parhaiten suomalaisiin olosuhteisiin. Välittäjien henkilörooleissa voidaan katsoa toimineen aktiivisimmin Salaojakeskuksen toim. joht. J. Saavalainen ja TKK:n

vesitalouden professori P. Vakkilainen.

Saavalainen on ollut useampia pidempia jaksoja vieraillessaan sekä Hollannissa, että USA:ssa. Saavalaisen ansioksi voidaan laskea mm. kansainvälisen salaajitusseminaarin hankkimisen Suomeen. Vuonna 1986 Otaniemessä pidetty seminaari kokosi ensimmäisen kerran yhteen molempien koulukuntien edustajat, jolloin tietojen vaihto oli tietysti helpompaa. Herrojen Skaggs, Feddes ja Kowalik ensimmäinen yhteinen illallinen on syöty ravintola Kappelissa heinäkuussa 1986.

Prof. Vakkilainen työskenteli vuonna 1982 usean kuukauden ajan yhdessä Feddesin kanssa, mistä on poikkinut useita Feddesin vierailuja Suomeen. Näiden vierailujen annin voidaan katsoa olleen lähinnä suomalaisten tutkijoiden innostamisessa tarkastelemaan asioita myös teoreettisesti.

Suomessa on kehitetty molempien koulukuntien mukaisia malleja. Karvonen (1988) käytti väitöskirjassaan pääasiassa hollantilaisten näkökulmaa. Vuoden 1990 syksyllä tämän artikkelin kirjoittaja vieraili kuukauden ajan Skaggsin oppituolessa Pohjois-Karolinassa. Tämän vierailun tuloksena syntyi yhteisjulkaisu (Skaggs & al 1991), jossa DRAINMOD-malliin liitettiin ensimmäisen kerran mahdollisuus laskea ravinteiden kulkeutumista maaperässä. Sen lisäksi kehitettiin

ns. suomalainen versio DRAIN-MOD:sta, eli FINNMOD, jolla pystytään laskemaan myös lumen kertyminen ja sulaminen, sekä maan lämpötila ja routaantuminen. FINNMOD-mallia on sovellettu mm. Zaitsevon koe kentän tulosten analysoinnissa (Kleemola 1992).

## Tietokonemallien soveltamiskäytännöt Suomessa

- 1) Aiemmin todettiin jo, että salaajituksen suunnittelussa tietokonemalleja voidaan käyttää vain mitoituserusteiden tarkistuksessa, mutta ei yksittäisen lohkon ojavälin valinnassa.
- 2) Säättösalaajituksesta on meneillään laaja tutkimus, joka tuottaa runsaasti mitattua tietoa mm. salaajavalunnasta ja ravinteiden huuhtoutumisesta, sekä säättötoimenpiteiden vaikutuksesta edellisiin. Mallien avulla on mahdollista laajentaa mittaustulokset käsittämään myös niille maalajeille, joilla kokeita ei ole pystytty tekemään.
- 3) Reaaliaikainen kuivatusjärjestelmän säätö tulee varmasti ajankohitaiseksi myös Suomessa maatalouden tulosvastaun kasvaessa kuluvan vuosikymmenen aikana. Mallien avulla on mahdollisuus sekä kartoittaa potentiaaliset sovellutuskohteet, että ohjata kastelujärjestelmiä myös käytännön viljelyssä.

## KIRJALLISUUTTA

Bouwer, H. and van Schilfhaarde, J. (1963). Simplified method of predicting fall of water table in drained land. Transactions of the ASAE 6(4): 288-291.

Feddes, R.A., Kowalik, P. and Zaradny, H. (1978). Simulation of field water use and crop yield. Wageningen, 189 p.

Jensen, K.H. (1983). Simulation of water flow in the unsaturated zone including the root zone. Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, Technical University of Denmark, Series paper No. 33, Lungby.

Karvonen, T. (1988). A model for predicting the effect of drainage on soil moisture, soil temperature and crop yield. Helsinki University of Technology, Publications of the Laboratory of Hydrology and Water Resources Engineering 1988/1.

Kleemola, J. (1992). Salaajitusmenetelmän vaikutus pohjaveden korkeuksiin Zaitsevon koealueella 1989-1990. II: Ojituksen toimivuuden määrittäminen FINNMOD-mallia käyttäen. Salaajituksen tutkimusyhteistyö ry:n tiedote N:o 15. s. 16-23.

Skaggs, R.W. (1975). A water management model for high water table soils. ASAE Paper No. 75-2524 presented at the 1975 Winter



Meeting of ASAE, Chigago, Il. Dec 15-18, 27 pp.

**Skaggs, R.W. (1978).** A water management model for high water table soils. Technical Report No. 134 of the Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, N.C. State University, Raleigh NC 27695.

**Skaggs, R.W. (1980).** A water management model for artificially drained soils. Technical Bulletin No. 267, N.C. Agricultural Research Service, N.C. State University, Raleigh, 54 pp.

**Skaggs, R.W. & Gilliam, J.W. (1981).** Effect of drainage system design and operation on nitrate transport. Transactions of the ASAE, 1981:929-934.

**Skaggs, R.W., Karvonen, T. and Kandil, H. (1991).** Predicting soil water fluxes in drained lands. Paper No. BAE of the Journal Series

of the Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7625.

**Vakkilainen, P. (1982).** Maa-alueelta tapahtuvan haihdunnan arvioinnista. Acta Universitatis Ouluensis, Series C, No. 20, Oulu.

**van Schilf-gaarde, J. (1974).** Nonsteady flow to drains. In Drainage and Agriculture, J. van Schilf-gaarde, ed. American Society of Agronomy, Madison, WI., pp. 245-270.

**Workman, S. (1989).** Väitöskirja. Agricultural engineering department, North Carolina State University, Raleigh, USA.

# RAVINTEIDEN KIERRÄTYS KAHTEN KERROK- SEEN SIJOITETTUJA SALAOJAPUTKISTOJA KÄYTTÄEN

Tekn. tri Tuomo Karvonen, Suomen Akatemia, nuor. tutkija (HY)

## Johdanto

Säätösalaajituksen ja padotuskaste-  
lun käyttö maaperän vesitalouden  
säätelyssä on nopeasti hyväksytty  
erityisesti USA:n keski- ja kaak-  
koisosissa (Skaggs 1987). Salaoja-  
putkiston käyttäminen sekä maan  
kuivatuksessa, että padotuskastelus-  
sa on yleistynyt kaikkialla USA:ssa,  
missä olosuhteet suosivat sen käyt-  
töä. Erityisen kannattavaa padotus-  
kastelu on alueilla, jotka alunperin  
olivat huonosti kuivatettuja, ja joille  
on asennettu salaojaputkistot maan  
kuivattamiseksi. Skaggsin (1980)  
kehittämä DRAINMOD-malli on  
osoittautunut tehokkaaksi välineek-  
si, jolla sekä kuivatukseen että  
kasteluun käytettyjen ojastojen  
suunnittelu on tarkentunut (Melvin  
ja Kanwar 1991).

Säätösalaajitus/padotuskastelu,  
jossa samaa putkistoa käytetään  
kuivatukseen ja kasteluun on osoit-  
tautunut olevan tehokas sekä sadon  
lisääjänä, että ravinnehuuhtoumien  
pienentäjänä (Evans ym. 1987; Ka-  
lita ja Kanwar 1992; Kalita ym.  
1992). Melvinin ja Kanwarin (1991)  
mukaan saman putkiston kahden-  
suuntaisella käytöllä on kuitenkin  
kolme epäkohtaa:

1) Putken liettymisvaara kun veden

virtaussuunta jatkuvasti vaihtuu  
kuivatuksesta kasteluun tai päinvas-  
toin.

2) Ravinteiden kierrätys vaikeutuu,  
kun samanaikainen kuivatus ja kas-  
telu ei ole mahdollista.

3) Kasteluveden ja ravinteiden hä-  
vikki silloin, kun kastelusta vaih-  
detaan kuivatustilaan.

Tämän artikkelin päätarkoitus on  
esitellä erityisesti ravinteiden kierrä-  
tykseen suunniteltu kaksikerrosoji-  
tus (Melvin ja Kanwar 1991; Kalita  
ja Kanwar 1992), jota on testattu  
USA:ssa, Iowan osavaltiossa v. 1988  
lähtien. USA:ssa, Michiganissa jär-  
jestettiin elokuussa 1991 padotus-  
kastelua ja säätösalaajitusta käsitel-  
lyt kansainvälinen seminaari. Tämä  
artikkeli perustuukin pääasiallisesti  
Melvinin ja Kanwarin ko. seminaa-  
rissa pidettyyn esitelmään. Ravin-  
teiden kierrätyksen ja kaksiker-  
rosojituksen käyttömahdollisuuksia  
Suomen olosuhteissa on myös arvi-  
oitu. Ravinteiden kierrätys toteut-  
taa mm. kestävän kehityksen mu-  
kaisen viljelyn kriteerit. Varsin  
mielenkiintoinen yksityiskohta on  
kasteluun käytetyn varastoaltaan  
nitraaattipitoisuuksia alentava vai-  
kut.

## Kaksikerrosojitus ja ravinteiden kierrätys - menetelmän periaate

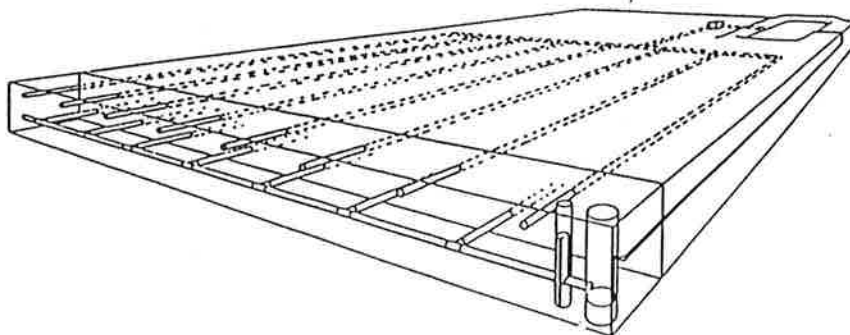
Kuvassa 1 on esitetty kaavakuva kaksikerrosojituksesta. Kasteluputket sijoitetaan lähelle maanpintaa, 0.5-0.6 m syvyyteen samansuuntaisesti kuivatukseen käytettyjen salaojien kanssa. Kasteluun käytettävät putket sijaitsevat kuivatusojien puolivälissä. Kuivatusojien syvyys on normaali, eli 1.0-1.3 m. Systemin välttämätön osa on varastoal- las, johon märän jakson kuivatusvedet varastoidaan. Varastoaltaan vesi on pääasiallinen kasteluveden lähde kuivina jaksoina. Kuivatusvedet johdetaan myös ensin varastoal- taaseen, jolloin on mahdollista kierrättää pellolle annettuja ravin- teita, eli saavuttaa korkeampi ravin- teiden käytön hyötysuhde ja samalla

pienentää vesistöön huuhtoutuvia ravinnemääriä.

## Koelue Iowassa

Iowan yliopisto (ISU = Iowa State University) perusti v. 1988 kokeen, jolla pyritään selvittämään kaksikerrosojituksen käyttömahdollisuudet ravinteiden käytön tehostamisessa ja satotason nostamisessa. Projek- tin pitkäaikaistavoitteita ovat: 1) saavuttaa mahdollisimman korkea satotaso siten, että lopputulos on kannattava myös investointikustan- nukset mukaan lukien, 2) minimoi- da ympäristöriski, joka väistämättä liittyy tämäntyyppiseen tehoviljelyk- seen.

Iowan yliopiston koe jouduttiin käytännön syistä perustamaan alu- eelle, joka oli kaltevampi kuin yleis-esti suositeltu kaltevuus (n. 1 %).



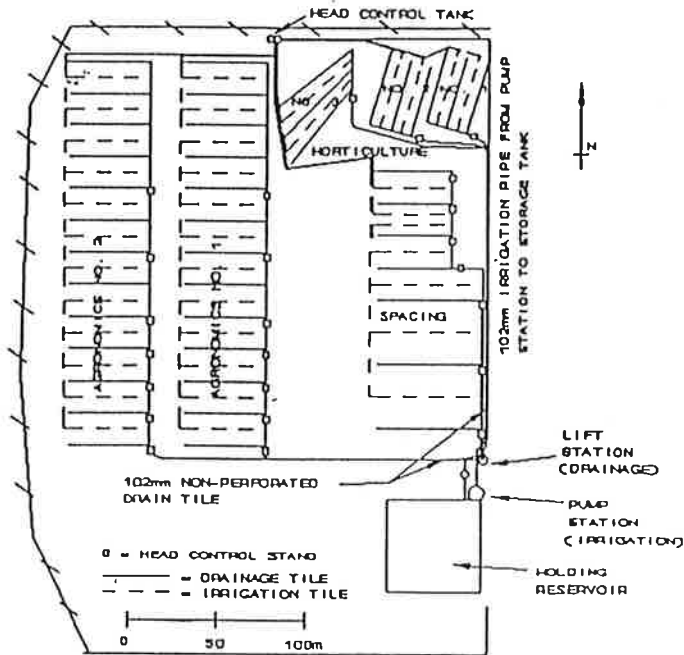
Kuva 1. Kaksikerrosojituksen periaatekuva (Melvin ja Kanwar 1991).

Paikka paikoin kaltevuus oli jopa 5 %, jolloin tarvitaan useampia säätelyrakenteita kuin tasaisella pellolla. Alueen maalaji on peräisin jääkauden aikaisesta moreenista (glacial till), joissa 2-3 metrin syvyydellä on huonosti vettä läpäisevä hapeton kerros, jonka yläpuolelle muodostuu aika ajoin lähelle maanpintaa nouseva pohjavedenpinta.

Koealueella on erikseen normaalissa viljanviljelyssä olevat koeruodut (maissi) ja erikseen puutarhakasvien tuotannossa, eli erikoisviljelyksessä olevat koeruodut (tomaatti, mansikka, vihreä paprika). Viljan-

viljelyyn tarkoitetuilla koeruuduilla kuivatus/kasteluojien välinen etäisyys on 18.3 m, eli vierekkäisten kuivatus- ja kasteluojien välinen etäisyys on 9.15 m. Erikoisviljelyssä olleilla ruuduilla ojien välinen etäisyys on pienempi, eli 12.2 m. Koealueen ojastojen, varastoaltaan ja säätelyrakenteiden paikat on esitetty kuvassa 2.

Kasteltu ala on kokonaisuudessaan 3.13 ha. Varastoallas sijaitsee alueen alavimmassa kohdassa, joka on n. 6 m alempana kuin alueen korkein kohta. Kasteltaessa vesi pumpataan varastoaltaasta 1.2 kW:n



Kuva 2. Pellon vesitalouden säätöjärjestelmä Iowan kokeessa (Melvin ja Kanwar 1991).

pumpulla alueen korkeimmalla kohdalla olevaan säätelykaivoon. Kasteluputki on kooltaan 102 mm (4").

Pellolla vedenpinnan säätelylaitteita on sijoitettu kokoojaan korkeussuunnassa 0.5 m:n välein, eli kaltevalla pellolla säätelyrakenteiden välimatka on pieni ja kustannukset kasvavat. Esimerkiksi kaltevuuden ollessa 2 %, säätelykaivoja on rakennettava 25 m:n välein.

Iowan koealueella sekä viljanviljelyssä, että erikoisviljelyssä olevien ruutujen vedet johdetaan mittauskaivoihin salaojista purkautuvan vesimäärän ja veden laadun mittausta varten. Maissiruuduilta tulevat vedet joudutaan pumppaamaan mittauskaivosta varastoaltaaseen 0.75 kW:n pumpulla. Ylimääräinen pumppu on tarpeen ainoastaan tutkimussyistä. Varastoaltaan koko on Iowassa 4 500 m<sup>3</sup>, mikä vastaa 144 mm:n kastelukapasiteettia 3.13 ha:n tutkimusalueelle.

### **Tutkimustavoitteet Iowassa**

Ravinteiden kierrätys kaksikerrosojitusta käyttäen on tutkimus, jossa mukana on useiden alojen asiantuntijoita Iowan yliopistosta. Melvinin ja Kanwarin (1991) mukaan tutkimuksen tavoitteita ovat:

- 1) Tutkia veden ja ravinteiden virtausta kahteen kerroksen sijoitettussa ojitussysteemissä.
- 2) Määritellä maalajit, joille systeem-

miä voidaan käyttää, sekä arvioida systeemin pitkäaikaisen käytön vaikutus maalajin ominaisuuksiin.

3) Laatia ohjeet miten pohjavedenpinnan säätely ja ravinteiden käyttö on toteutettava niin, että kasvien kasvu on optimaalinen.

4) Arvioida systeemin pitkäaikaisen käytön vaikutus alueen pinta- ja pohjavesien hydrologiaan (myös veden laatu).

5) Laatia ohjeet säätelyrakenteiden käytöstä eri maalajeilla ja erilaisissa ilmasto-oloissa.

6) Arvioida menetelmän taloudellisen kannattavuus eri maalajeilla, eri viljakasveilla ja erilaisissa ilmasto-oloissa.

### **Tutkimustuloksia Iowasta**

#### **Agronomiset tutkimukset**

Tavoitteena oli tutkia typen kulkeutumista ojitussysteemissä, verrata sekä typpilannoituksen muodon, että lannoitusajankohdan vaikutus maissisatoon. Kastelukriteerinä oli pyrkimys pitää pohjavedenpinta 0.75-1.0 m:n syvyydellä siinä vaiheessa, kun maissin tähkä alkaa muodostua. Koekentän perustamisongelmat, sekä kesän 1988 kuivuus aiheuttivat sen, että pysyvä pohjavedenpinta saatiin muodostettua vasta kesällä 1989.

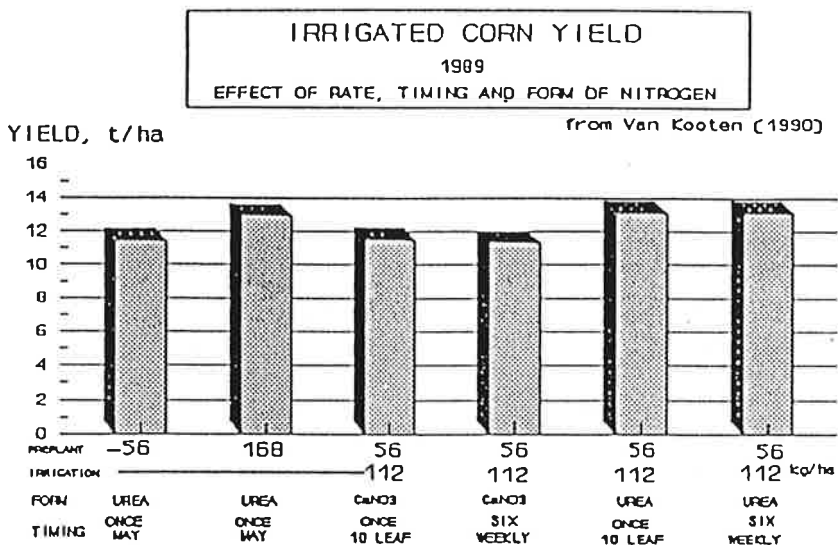
Kuusi erilaista typpikäsittelyä (kaksi kerrannetta) oli testattavana (kts. kuva 3):

- 1° 56 kg N/ha ureana toukokuussa
- 2° 168 kg N/ha ureana toukokuussa
- 3° 56 kg N/ha ureana toukokuussa ja 112 kg N/ha kalsiumnitraattina 10-lehtiasteella (kasteluvedessä)
- 4° 56 kg N/ha ureana toukokuussa ja 112 kg N/ha kalsiumnitraattina kerran viikossa kuuden viikon ajan (kasteluvedessä)
- 5° 56 kg N/ha ureana toukokuussa ja 112 kg N/ha ureana 10-lehtiasteella (kasteluvedessä)
- 6° 56 kg N/ha ureana toukokuussa ja 112 kg N/ha ureana kerran viikossa kuuden viikon ajan (kasteluvedessä)

Kasteluveteen syötetyn kalsiumnitraattilannoitteen todettiin kulkeutu-

van kasteluojista kuivatusojiin (9.15 m:n matka) kahdessa päivässä. Ureana annettu lannoite hydrolysoitui ammoniumiksi lähellä kasteluputkea. Tästä syystä urealannoite vapautui kasvien käyttöön hitaammin, mikä puolestaan johti parempaan lannoitteiden käytön tehokkuuteen ja suurempaan satoon (kuva 3).

Vaikka vuoden 1989 tulokset olivat erinomaisia, niin sato kärsi jonkin verran alkukesän vedenpuutteesta. Pumput eivät toimineet kesäkuussa moitteettomasti, joten kasteluvettä pystyttiin antamaan täysin suunnitelmien mukaan vasta heinäkuun puolivälissä. Satoa pienensivät



Kuva 3. Maissisadon riippuvuus lannoitusmäärästä, -ajankohdasta ja lannoitteen muodosta (Melvin ja Kanwar 1991).

jonkin verran myös elokuun kaksi myrskyä. Ongelmista huolimatta yksittäisillä koeruuduilla saavutettiin niinkin korkea maissisato kuin 14 600 kg/ha, kun ympäröivän alueen keskimääräinen maissisato v. 1989 oli 7 400 kg/ha. Koealueella käytettiin myös vähemmän lannoitteita kuin alueen maissinviljelyksessä keskimäärin.

### **Tulokset erikoiskasvien viljelystä**

Vuonna 1989 tulokset erikoiskasvien viljelystä olivat erittäin rohkaisevia. Kaikkien puutarhakasvien - tomaatti, vihreä paprika ja mansikka - sato parani kastelun ansiosta. Kyseiset kasvit oli valittu tutkimukseen kahdesta syystä. Niitä kaikkia tuotetaan kaupallisesti Iowassa ja niiden juuristokerroksen syvyys on erilainen. Mansikan juuristo on matala, 15-20 cm. Vihreän paprikan juuristosyvyys on hieman suurempi, n. 45 cm ja tomaatin juuristosyvyys on puutarhakasviksi poikkeuksellisen suuri, eli 60 cm. Koealueen erikoiskasvien sato ja sadon laatu olivat täysin vertailukelpoisia niiden viljelmien tuotteisiin, jotka oli kasteltu muilla menetelmillä (mm. pisarakastelu, drip irrigation). Melvinin ja Kanwarin (1991) mukaan tämä on erityisen lupaavaa, sillä kaksikerrosojituksen vuotuiskestannukset ovat pienemmät kuin pisarakastelussa, menetelmä on helpompi hallita kuin pisarakastelu ja märkinä kausina voidaan kuivattamalla taata sadon

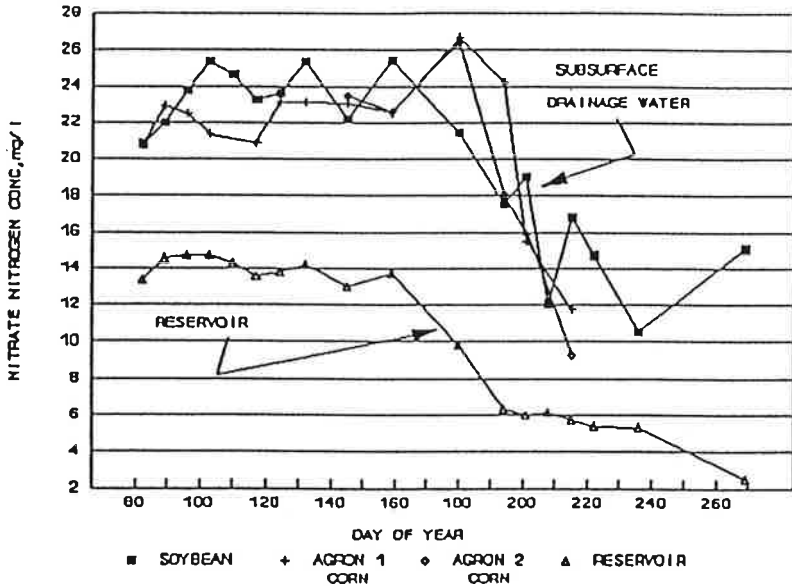
määrä ja hyvä laatu. Eri tomaattilajikkeiden sato vaihteli 22 000 - 31 000 kg/ha välillä. Vihreän paprikan kauppakelpoinen sato oli suurimmillaan 2 600 kg/ha.

### **Ravinnetutkimusten tuloksia**

Vuoden 1989 yksi mielenkiintoisimpia tuloksia on havainto, jonka mukaan maaveden nitraattikonsentraatio oli selvästi suurempi ruuduilla, joissa padotustaso oli syvällä, eli pohjavesi kaukana maanpinnasta. Edelleen havaittiin, että nitraattipitoisuus oli alhainen näytteissä, jotka oli otettu syvemältä kuin 1.8 m.

Ennen v. 1990 suurin osa kasteluun käytetystä vedestä ostettiin paikalliselta vesilaitokselta, sillä sadannan ylijäämä ei riittänyt täyttämään varastoallasta. Keväällä 1990 varastoallas täytyi valumavesistä ja ko. vesimäärä riitti tyydyttämään kastelutarpeen koko kesän 1990 ajan. Kuvassa 4 on esitetty sekä salaojista purkautuneen veden, että varastoaltaan veden nitraattipitoisuudet kesällä 1990. Salaojista purkautuneen veden nitraattikonsentraatio oli heinäkuun loppuun saakka jatkuvasti yli 20 mg/l. Nitraattipitoisuus varastoaltaassa oli koko ajan selvästi pienempi ja oli alle 10 mg/l kesäkuun jälkeen ja myöhään syksyllä pitoisuus laski arvoon 3 mg/l. Melvinin ja Kanwarin (1991) ei tarkkaan tiedetä mitkä mekanismit pienentävät altaan veden nitraattipitoisuutta, mutta ainakin denitrifikaatio ja altaassa olevan vesikasvus-

WATER QUALITY MONITORING RESULTS  
ANKENY WATER MANAGEMENT PROJECT-1990



Kuva 4. Veden laadun analysointitulokset Iowan kokeesta v. 1990 (Melvin ja Kanwar 1991).

ton tyypin sidonta alentavat nitraattikonsentraatiota. Tulokset ovat joka tapauksessa mielenkiintoisia ja avaavat näkökulmia mm. alaiden käytöstä peltokuormituksen vähentäjänä.

### Ongelmia ja epävarmuustekijöitä Iowan kokeessa

Iowan kokeen kastelu/kuivatussysteemi soveltuu samanaikaiseen kasteluun ja kuivatukseen, eli veden ja ravinteiden jatkuvaan kierrätykseen. Toistaiseksi menetelmää ei

kuitenkaan ole voitu testata käytännössä mm. pumppujen käytössä ilmenneiden vaikeuksien ja tutkimuksen ensimmäisen vuoden vedenpuutteen vuoksi. Aluksi valumavedet eivät riittäneet täyttämään allasta, joten vettä oli ostettava paikalliselta vesilaitokselta, mikä ei todellisessa sovellutuksessa olisi taloudellisesti kannattavaa.

Kaksikerrosojituksen investointikustannukset samantapaisena sovellutuksena kuin Iowassa sähköisesti säädeltävien rakenteineen ovat varsin korkeat, joten taloudellinen



kannattavuus ei ole helposti saatavissa. Melvinin ja Kanwarin (1991) artikkelissa ei ole esitetty edes hankkeen kokonaiskustannuksia saati sitten arviota hankkeen kannattavuudesta. Tutkimus lienee näiltä osin vielä keskeneräinen. Todellisessa viljelyssä joku kevyempi ratkaisu lienee ainoa mahdollisuus.

Artikkelista ei myöskään käy ilmi kuinka automaattinen esim. kokoojajojissa olevien säätelyluukkujen käyttö on tai mikä voisi olla säätöä ohjaava mittaussuure. Lisää tutkimusta tarvitaan mm. ravinteiden kierrätyksen pitkäaikaisvaikutuksista. Tarkempia menetelmiä tarvitaan myös ennustamaan koko systeemin vesitaseen komponentit.

## **Menetelmän soveltuvuusmahdollisuuksista Suomen olosuhteissa**

### **Maataloustuotantoa tehostettava**

Maatalous on lähivuosien aikana suurten haasteiden edessä mm. mahdollisen EY-jäsenyyden takia. Paineet suoran maataloustuen alentamiseen ovat myös suuret, eli lähivuosina viljelytilojen kannattavuuden parantaminen edellyttää sekä tilakokojen suurentamista, että yksittäisen tilan kannattavuuden nousua suhteessa tuotantopanoksiin. Toiselta puolen maataloudesta ympäristöön huuhtoutuvien ravinteiden ja kasvinsuojeluaineiden määriä

joudutaan jatkuvasti vähentämään. Tämä tulee edellyttämään kokonaisvaltaista veden ja ravinteiden kiertokulun säätöä maa-kasvi-järjestelmässä, sekä tuotantopanosten käytön optimointia.

### **Ravinteiden kierrätys ja kestävä kehityksen mukainen maataloustuotanto**

Melvinin ja Kanwarin (1991) esittämä ravinteiden kierrätys kahdessa tasossa olevia putkistoja käyttäen on teknisesti erittäin lupaavan tuntuinen menetelmä, joka täyttäneen kestävä kehityksen mukaisen maataloustuotannon kriteerit. Melvinin ja Kanwarin (1991) mukaan kaksiker-rosojitus ja ravinteiden kierrätys tarjoavat ainakin Iowan olosuhteissa mahdollisuuden kestävä kehityksen mukaiseen viljelyyn, eli korkeaan satotasoon siten, että ympäristökuormitus on pienempi kuin ns. perinteisessä tehoviljelyssä.

### **Soveltuuko Suomeen ?**

Menetelmän käytännön soveltuvuutta arvioitaessa on huomioitava erityisesti seuraavat erot Iowan ja Suomen ilmasto-oloissa, sekä maataloustuotannon rakenteessa:

- 1) Iowassa maalajit ovat homogeenisempia ja peltokuviot paljon suurempia kuin Suomessa.
- 2) Iowassa kasvukausi on selvästi pidempi eli potentiaalinen satotaso korkeampi kuin Suomessa.
- 3) Talvikausi puuttuu Iowasta lähes kokonaan, eli matalaan sijoitettu-

jen kasteluputkien routavaurioita ei Iowassa tarvitse pelätä.

4) Vuosivalunnan jakaantuminen on Suomessa toisenlainen kuin Iowassa.

Menetelmä soveltuu parhaiten suurikokoisille, tasaisille peltolohkoille, joissa maalajin vedenläpäisevyys on kohtalaisen hyvä (miellettään yli  $2 \text{ cm/h} = 0.48 \text{ m/d}$ ). Suomessa tämäntyyppisiä alueita on eniten Pohjanmaalla, jossa harrastetaan myös paljon erikoisviljelyä (mm. peruna). Suomen lyhyt kasvukausi asettaneekin rajoituksen menetelmän soveltuvuudelle, eli kannattavuus on helpoimmin saavutettavissa kasvista, jonka tuotto hehtaaria kohden on suuri.

Routavaaran/juuritukkeumariskin takia matalaan sijoitetut kasteluputket eivät todennäköisesti tule kyseen. Yksi mahdollisuus on korvata kasteluputki esim. muutaman vuoden välein uusittavalla myyräojituksella. Kastelu voitaisiin toteuttaa myös pintavalutuksena, jolloin toinen putkikerros jää pois, mikä alentaa kustannuksia.

Melvinin ja Kanwarin (1991) mukaan ravinteiden ja veden kierrätys kaksikerrosojitusta käyttäen soveltuu olosuhteisiin, joissa sadannan vuotuinen ylijäämä (eli valunta) on hieman suurempi kuin vuotuinen kastelutarve. Suomessa altaan täyttäminen onnistuisi useimmiten syksyn- ja kevään aikana ennen kasvukauden alkua. Kesäaikana

haihdunta on keskimäärin sadantaa suurempi, eli kastelutarvetta on lähes vuosittain. Ongelma on, että syksyllä haihduntaa ei voida Suomen oloissa padotuskastelulla lisätä yhtä paljon kuin Iowassa, eli veden ja ravinteiden kierrätystä ei voida toteuttaa täydellisesti.

Altaan vedenpitävyys ja kaivettavan altaan massojen sijoittaminen saattavat käytännössä estää menetelmän soveltamisen. Altaan sijoittaminen lohkon alimpaan kohtaan lähelle valtaojaa, jossa pohjavedenpinta on verrattain lähellä maanpintaa, olisi altaan vedenpitävyyden kannalta edullista. Altaan sijoittaminen alueen ulkopuolelle ja ylimpään kohtaan olisi pellon käytön kannalta edullista, mutta esimerkiksi altaan täyttäminen saattaisi olla vaikeampaa.

Varastoaltaan tilavuuden tulisi olla luokkaa  $500 - 1000 \text{ m}^3/\text{ha}$  (vastaa  $50 - 100 \text{ mm:n}$  kastelutarvetta). Jos altaan keskisyvyys on esim.  $2.0 \text{ m}$ , niin tarvittava pinta-ala on  $250 - 500 \text{ m}^2/\text{ha}$ , eli  $1 - 2 \%$  pellon pinta-alasta.

Iowan kokeessa havaittiin varastoaltaan nitraattipitoisuuksia alentava vaikutus, mikä yhdistettynä veden ja ravinteiden kierrätykseen tarjoaa mielenkiintoisen tutkimuskohteen myös Suomen ilmasto-oloissa - talvikaudesta huolimatta.

## Aurinkopaneeleista energiaa pum- puille?

Kastelutarvetta esiintyy eniten silloin, kun aurinkoenergiaa on runsaasti saatavilla. Suomenkin olosuhteissa on mahdollista päästä kustannuksiltaan kohtalaisen edulliseen ratkaisuun, jossa pumppujen tarvitsema energia otetaan aurinkopaneeleista. Pumput kierrättävät jatkuvasti vettä ja ravinteita sitä enemmän, mitä aurinkoisempaa on. Tällä systeemillä olisi mahdollista päästä useimpina vuosina tilanteeseen, jossa kasvukauden ajan valuma pystytään estämään kokonaan, eli näinä aikoina ei myöskään ravinteita huuhtoudu vesistöön. Syksyn aikana allas pyrkii tietysti täyttymään, mutta ainakin Iowan kokemusten mukaan altaan vedenlaatu on parempi kuin purkautuvien salaojavesien laatu, eli allas pystyy alentamaan vesistöön purkautuvan veden nitraattipitoisuutta.

Alustavien kustannuslaskelmien mukaan n. 5 000 mk maksavalla aurinkopanelilla pystytään keskimääräisenä vuonna kierrättämään vettä n. 3-3.5 m<sup>3</sup>/d, eli touko-syyskuun välisenä aikana n. 450-500 m<sup>3</sup>. Erikoiskasvien viljelyssä tämänsuuruinen investointikustannus hehtaaria kohden maksaa itsensä takaisin tehostuneena tuotantona jo 2-4 vuodessa. Yksityiskohtaiset laskelmat kierrätettävän vesimäärän tarpeesta on vielä tekemättä, joten kustannuslaskelmat tarkentuvat myöhemmin.

Veden ja ravinteiden kierrätyksen tutkimiseksi on tarkoituksena perustaa kenttäkoe vuoden 1993 aikana.

## Kirjallisuusviitteet

Evans, R.O., Gilliam, J.W., Skaggs, R.W. and Lemke, W.L. (1987). Effects of agricultural water management on drainage water quality. In Proceedings of Fifth National Drainage Symposium, pp. 210-219. ASAE, St. Joseph, MI.

Kalita, P.K. and Kanwar, R.S. (1992). Shallow water table effects on photosynthesis and corn yield. Transactions of the ASAE 35(1), pp. 97-104.

Kalita, P.K., Kanwar, R.S. and Melvin, S.W. (1992). Subirrigation and controlled drainage: Management tools for reducing environmental impacts of nonpoint source pollution.

Melvin, S.W., Kanwar, R.S. and Baker, D.G. (1990). Evaluation of dual level subirrigation system. In Proc. 3rd National Irrigation Symposium, pp. 204-210., ASAE, St. Joseph, MI.

Melvin, S.W. and Kanwar, R.S. (1991). Environmental and economic impacts of a recycling subirrigation drainage system. International Conference on Subirrigation and Controlled Drainage. Lansing, Michigan, August 12-

14, 1991 (manuscript).

Skaggs, R.W. (1980). A water table management model for artificially drained soils. Tech. Bulletin No. 267. North Carolina Agricultural Research Service. N.C. State University, Raleigh, 54 p.

Skaggs, R.W. (1987). Design and management of drainage systems. In Proceedings of Fifth National Drainage Symposium, pp. 1-12. ASAE, St. Joseph, MI.

# ENGLISH SUMMARY: CONTROLLED DRAINAGE AND SUBIRRIGATION AS A METHOD FOR REDUCING NUTRIENT LOADING FROM AGRICULTURAL FIELDS

## Introduction

The relative contribution of non-point sources to nutrient loading, particularly to phosphorus and nitrogen loading, has increased during the last two decades. The absolute amount of phosphorus and nitrogen loading from agriculture is known to be higher than the loading from industrial and municipal sources. In Finland the most harmful effect of agriculture is the eutrophication of surface waters due to nutrient losses from field cultivation and cattle farming. Other effects include increased turbidity, increased nitrate concentration in groundwater and the leaching of pesticides.

According to a decision made by the Finish government in 1988, phosphorus loading from agriculture should be reduced by 30 % by 1995, combined with a significant reduction of nitrogen loading. The main problem with the fulfillment of the decision has been the lack of suitable methods for controlling the leaching of nutrients from agricultural fields.

Water table management using

subirrigation and controlled drainage is a method that has recently been widely accepted as a tool for reducing nitrogen and phosphorus load from agriculture. Finnish Field Drainage Center, Helsinki University of Technology and University of Helsinki have started a four-year research project that aims to evaluate the limitations and soil requirements to use the system. The purpose of this publication is to describe briefly the experimental fields, data collection systems and research objectives. Moreover, a literature review that lists the influence of subsurface drainage, subirrigation and controlled drainage on leaching of nutrients is presented. The applicability of water table management models - DRAINMOD and SWATRE - is evaluated. A new dual level subirrigation-drainage system that can be used to recycle the drainage water and nutrients is described (Kalita et al. 1992; Melvin and Kanwar 1991);

## Subirrigation and controlled drainage

Water table management using

subirrigation and controlled drainage has been rapidly accepted in the Midwest and Southwest Regions of the USA (Skaggs 1987). The use of subsurface drainage systems for both drainage and irrigation has become a popular water management technique where conditions are favourable for its use. It is particularly attractive as an irrigation alternative where parallel drainage systems have been previously installed in a flat, poorly drained soils (Melvin ym. 1990).

Subirrigation and controlled drainage systems have been successful in providing excellent crop production as well as an excellent technique for the management of shallow groundwater quality (Evans ym. 1987, 1989). The concentrations of nitrate-N, atrazine, and alachlor in shallow groundwater could be reduced and corn yield could be increased with water table management practices (Kalita ja Kanwar 1992). Kalita ym. (1992) reported that three years of data from Iowa reveal that nitrate-N, atrazine, and alachlor concentrations in groundwater were decreased by maintaining shallow water table depths (<0.6 m) in the field. Results clearly suggest that subirrigation and controlled drainage practices have the ability to improve groundwater quality in agricultural areas. Bengtson ym. (1989) reported that atrazine and metolachlor losses were reduced by 55 % and 51 % respectively, by subsurface drainage.

Several studies (Deal et al. 1986; Skaggs and Gilliam 1981; Kalita et al. 1992) have concluded that significant reduction in nitrate nitrogen entering surface waters could be achieved by controlled drainage practices. The result of these studies has led to the adoption of controlled drainage as a best management practice for artificially drained soils qualifying for cost share assistance under the North Carolina Agricultural Cost Share Program (Evans et al. 1989).

Recently producer interest in total water management systems has grown rapidly. In North Carolina alone, more than 2000 control structures have been installed since 1983 to provide controlled drainage on nearly 50 000 ha. In 20 counties in eastern North Carolina, controlled drainage has accounted for over 80 percent of the cost share funds expended in those counties.

### **Recycling of nutrients using dual level subsurface irrigation-drainage system**

Melvin and Kanwar (1991) and Kalita ym. (1992) have described a very interesting dual level subsurface irrigation-drainage system. The system allows the management of a shallow water table in a field with the use of a parallel subsurface pipes, one set shallow, which are used for irrigation, and a deeper set, parallel to and between irrigati-

on lines. An integral and necessary component of the system is a reservoir that is used to store excess drainage water during wet periods. Reservoir water is used as the major irrigation source during periods of deficit moisture and to store drainage water during redistribution of nutrients. This system has the potential to reclaim agricultural chemicals leached from the shallow root zone during wet periods, store them in the reservoir and return them back to the field area from which they originated. Excess water and agricultural chemicals are recycled to obtain a higher use efficiency, while minimizing downstream flooding potential and water quality problems resulting from storage and treatment in a reservoir.

An experimental field for evaluating the applicability of recycling of nutrients will be founded during 1993.

### Experimental fields

Three experimental fields have so far been founded to evaluate the influence of controlled drainage on nutrient load from agricultural fields. The largest experimental field is situated in Kirkkonummi, at the experimental station of the Helsinki University of Technology. The soil type in Kirkkonummi is clay. The second experimental field is situated in Tuusula, where the

soil is peat. Kirkkonummi and Tuusula are both situated very close to Helsinki (< 50 km). The third experimental field is located in Western Finland, Lapua, where the soil is loamy sand.

### Measurements

In experimental fields the data collection systems are as automatic as possible. Meteorological variables - rainfall, air temperature, global radiation, relative humidity and wind speed - are monitored continuously and the variables are stored every 15 minutes. Discharge from subsurface drains and surface runoff are measured by weir systems (weir angles used are 30° and 75°) by measuring the upstream water level every 15 minutes. Groundwater level is measured from piezometer wells installed at the depth of 2 m (15 minutes measuring interval). Snow accumulation is monitored using a weighing system that can measure cumulative precipitation with the accuracy of about 0.5 mm. Soil temperature is measured at several depths (10, 20, 40 and 80 cm) and soil matric potential is monitored by tensiometers at the same depths. During the frost-free period water quality samples are automatically taken every 30 minutes if the discharge is greater than a prescribed value. During winter the samples are taken manually if drain discharge is significant. Nitrate-N, total nitro-

gen, soluble phosphorus, total phosphorus and sediment concentration are measured from the water samples.

Soil mineral nitrogen is measured once a month throughout the year. Water samples from the piezometer wells will be collected from the beginning of year 1993. The possibility to direct measurement of denitrification is evaluated during 1993.

The above ground biomass of crop is measured every second week. The biomass is divided between leaves, stems and storage organs. Moreover, the nitrogen taken up by the crop is measured at the same time with the biomass.

All measurement data is transferred from the field to a nearby mainstation via radiolink. A micro-computer that stores the measurement data is connected by modem to a telephone network and all the data is available for researcher in real-time.

## Research objectives

An interdisciplinary team conducts research to evaluate the applicability of controlled drainage in reducing the nutrient load. The objectives are as follows:

1) To determine the water and nutrient balance of conventional and controlled drainage systems.

2) To evaluate soil requirements and limitations to use the controlled drainage systems and to determine the effects of the use of the system on soil properties.

3) To determine the influence of controlled drainage on crop growth and crop nutrient uptake.

4) To evaluate the long-term effects of controlled drainage on surface and subsurface hydrology and water quality.

5) To develop design guidelines to assist in the use of the controlled drainage in different soil and climatic conditions.

6) To evaluate the economic feasibility of the controlled drainage systems for different soil, crop and climatic conditions.

## Uncertainties and problems

In North Carolina the dominant factor influencing total nutrient transport was the amount that drainage outflow was reduced by controlled drainage practices. In Finnish conditions the winter period is long and it is not clear how much evapotranspiration can be increased in Finland.

The greatest difficulties encountered have been related to measurement of rainfall when air temperature falls below 0 °C, measurement of drain discharge during flood periods (the capacity of the drain tubes to convey the drainage water is not high enough) and excessive



power consumption of automatic water sample collectors.

## Literature

Evans, R.O., Gilliam, J.W. and Skaggs, R.W. (1989). Effects of agricultural water table management on drainage water quality. Raleigh, Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, Report N:o 237, 87 p.

Evans, R.O., Westerman, P.W. and Overcash, M.R. (1984). Subsurface drainage water quality from land application of swine lagoon effluent. Transactions of the ASAE, Vol. 27, No. 2, p. 473-480.

Kalita, P.K. and Kanwar, R.S. (1992). Shallow water table effects on photosynthesis and corn yield. Transactions of the ASAE 35(1), pp. 97-104.

Kalita, P.K., Kanwar, R.S. and Melvin, S.W. (1992). Subirrigation and controlled drainage: Management tools for reducing environmental impacts of nonpoint source pollution. 6th International Drainage Symposium, Nashville, Tennessee, December 13-15, 1992. pp. 129-136.

Kanwar, R.S., Baker, J.L. and Johnson, H.P. (1984). Simulated effects of fertilizer management on nitrate loss with tile drainage water for continuous corn. Transactions of the ASAE, Vol. 27, No 5, 1396-

1404.

Melvin, S.W., Kanwar, R.S. and Baker, D.G. (1990). Evaluation of dual level subirrigation system. In Proc. 3rd National Irrigation Symposium, pp. 204-210., ASAE, St. Joseph, MI.

Melvin, S.W. and Kanwar, R.S. (1991). Environmental and economic impacts of a recycling subirrigation drainage system. International Conference on Subirrigation and Controlled Drainage. Lansing, Michigan, August 12-14, 1991 (manuscript).

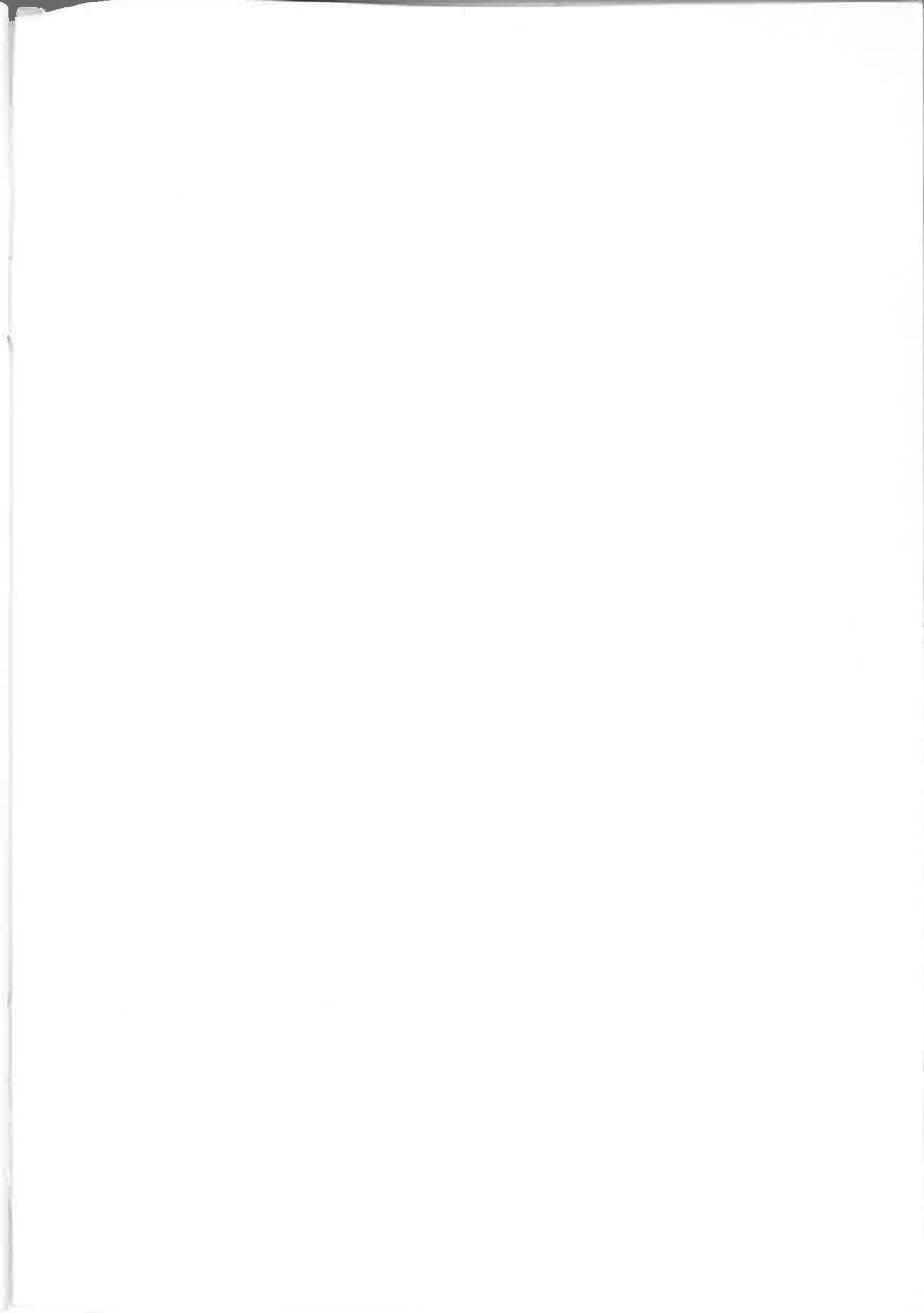
Skaggs, R.W. (1980). A water table management model for artificially drained soils. Tech. Bulletin No. 267. North Carolina Agricultural Research Service. N.C. State University, Raleigh, 54 p.

Skaggs, R.W. (1987). Design and management of drainage systems. In Proceedings of Fifth National Drainage Symposium, pp. 1-12. ASAE, St. Joseph, MI.

Skaggs, R.W., and Gilliam, J.W. (1981). Effect of drainage system design and operation on nitrate transport. Transactions of the ASAE, Vol. 24, No. 4, p. 929-934.

**Aikaisemmin ilmestyneet  
Salaajituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet:**

- 1 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita salaajitustutkimuksesta (1987)
- 2 Salaajatutkimusta koskevia aiheita (1987)
- 3 Salaajituskoetoiminnasta Ruotsissa ja salaajaputken ympärysaineista (1987)
- 4 Salaajatutkimuksia vuosilta 1987...1988 (1988)
- 5 Kuivatusta ja kastelua koskevia tutkimuksia (1988)
- 6 Maan tiivistymisen tutkimisesta Ruotsissa ja salaajatutkimuksesta Suomessa (1989)
- 7 Salaajaseminaari Osuuspankkiopistolla 27.9.1988 (1989)
- 8 Salaajituksen tavoiteohjelma, näkymiä vuoteen 2010 saakka (1989)
- 9 Sievin salaajituspäivät 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 rautasaostuman muodostumisesta (1990)
- 12 Salaajitusnäkymiä maailmalta (1990)
- 13 Kenttätutkimusmenetelmistä paineenalaisilla salaajitusalueilla sekä Junkkarinjärven pengerrys (1991)
- 14 Myyräajituksesta (1991)
- 15 Zaitsevo - koekentän tuloksia (1992)



A photograph of several white, fluffy seed heads on thin stems against a dark background. The seed heads are in various stages of development, some appearing more mature and fluffy than others. The stems are thin and light-colored. The background is dark and out of focus.

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