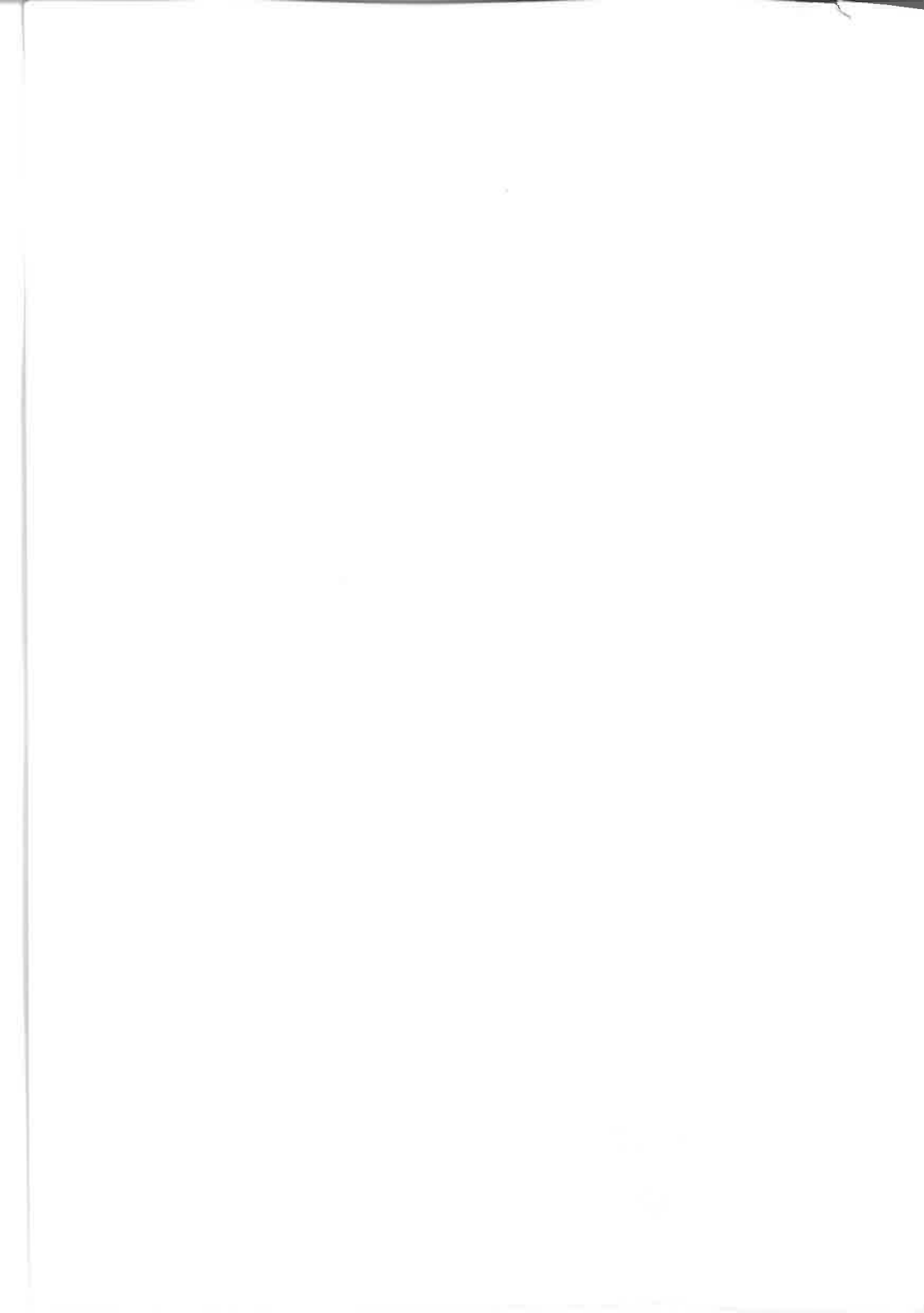


SALAOJITUKSEN TUTKIMUSYHDISTYS RY:N TIEDOTE

N:o 21

SÄÄTÖSALAOJITUKSEN,
UUSINTAOJITUKSEN JA PADOTUSKASTELUN
TUTKIMUSTULOKSIA

HELSINKI 1996



**SÄÄTÖSALAOJITUKSEN,
UUSINTAOJITUKSEN JA
PADOTUSKASTELUN
TUTKIMUSTULOKSIA**

Tämän julkaisun on rahoittanut Salaoituksen Tukisäätiö

* * *

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

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE.....	5
SÄÄTÖOJITUS LAPUAN KOEALUEILLA Antti Taskinen & Maija Paasonen-Kivekäs.....	6
SATOTULOKSIA SÄÄTÖSALAOJITUKSEN JA PADOTUSKASTELUN KOEKENTILTÄ 1994-95 Jouko Kleemola & Matti Teittinen.....	12
VALUMAVESIEN KIERRÄTYS JA PADOTUSKASTELU TYRNÄVÄN KOEALUEELLA Maija Paasonen, Tuomo Karvonen & Noor Sepahi.....	20
SÄÄTÖOJITUKSEN JA PADOTUSKASTELUN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS Timo Mattila, Maija Paasonen - Kivekäs, Matti Teittinen & Jouko Kleemola.....	29
VALUNTA JA RAVINNEHUUHTOUTUMAT SAVIMAASSA Johanna Kankaanranta.....	38
SAVIMAAN UUSINTAOJITUKSEN VAIKUTUS FOSFORIN JA TYPEN HUUHTOUTUMISEEN Eila Turtola.....	53

ESIPUHE

Amerikkalisten asiantuntijoiden käyttämä termi controlled drainage on saanut suomenkieliseksi vastineekseen sääätösalaoitus. Säätösalaoituksen tutkimus käynnistyi Suomessa 1980-luvun lopulla, jolloin tutkija Johanna Kankaanranta teki esitutkimuksen Markku Holman pelloilla Limingassa. Sittemmin yleinen tavoite hajakuormituksen vähentämiseen on vauhdittanut alan tutkimusta. Tutkimusta ovat rahoittaneet Maa- ja metsätalousministeriö, Kemira, Salaoituksen tukisäätiö, Suomen Akatemia ja Teknillinen korkeakoulu. Tutkimuksen käytännön toteutus on pääosin tapahtunut Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratorion ja Helsingin Yliopiston kasvinviljelytieteen laitoksen toimesta. Rahoittajille ja tutkimustyön käytännön suorittajille tässä yhteydessä tutkimusyhdistyksen parhaat kiitokset.

Tutkimustoiminta on käytännön viljelyssä johtanut myös moniin toimenpiteisiin. Yhtenä merkittävimpänä saavuuksena voidaan pitää säätösalaoituksen liittämistä EU:n ympäristötuen piiriin. Tutkimuksen alkuvaiheessa Suomessa arvioitiin olevan noin miljoona hehtaaria maaperältään säätösalaoitukselle soveliaista peltoa. Kuivatustilatutkimuksen perusteella arviota voidaan tarkistaa myös pellon kaltevuuden suhteen ja määräksi muodostuu noin 800 000 ha.

Viimeaikaiset tutkimukset ovat paneutuneet myös salaoituskastelun mahdollisuuksiin, jossa yhteydessä on otettu käyttöön ns. kaksikerrosrojitus-ratkaisuja. Salaoituskastelu oli viimeksi julkisen tutkimuksen kohteena meillä 1930-luvun lopussa Vihdin Maasojan kentällä. Tutkimustulokset näkyvät myöhemmin myös salaoitussuunnittelun käsikirjassa.

Nyt käsillä oleva tiedote käsittelee pääosin säätösalaoituksen tutkimusprojektin tuloksia vuosilta 1994-95. Projektin aiemmat tulokset on julkaistu vuosilta 1992-93 ja koekenttien perustaminen ja siihen liittyvä kirjallisuuskatsaus 1992. Lisäksi projektista on julkaistu useita artikkeleita kansainvälisissä kongresseissa, kuten eri artikkeleiden kirjallisuusviitteistä voidaan todeta.

Säätösalaoituksen lisäksi tiedotteessa on Maatalouden tutkimuskeskuksen tutkijan Eila Turtolan artikkeli uusintaajituksen vaikutuksesta ravinteiden huuhtoutumiseen, aihe, joka on varsinkin Varsinais-Suomen viljelijöille ajankohmainen raportti, onhan alueella täydennys- ja uusintaajitusten osuus varsin merkittävä.

Salaoituksen tutkimusyhdistys pyrkii omalta osaltaan edistämään salaoituksen tutkimusta ja siitä tiedottamista. Yhdistys on iloinen, että se voi julkaista näin mittavan määrän tuoreita tutkimustuloksia vauhdittamaan kestävän kehityksen mukaista peltoviljelyä. Mielihyvin on todettava, että yllämainittu tutkimustyö jatkuu aktiivisesti edelleen.

Helsingissä 5.8.1996

Matias Torvela
Tutkimusyhdistyksen puheenjohtaja

SÄÄTÖOJITUS LAPUAN KOEALUEELLA

DI Antti Taskinen ja TkL Maija Paasonen-Kivekäs
Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden ja
vesirakennuksen laboratorio

Johdanto

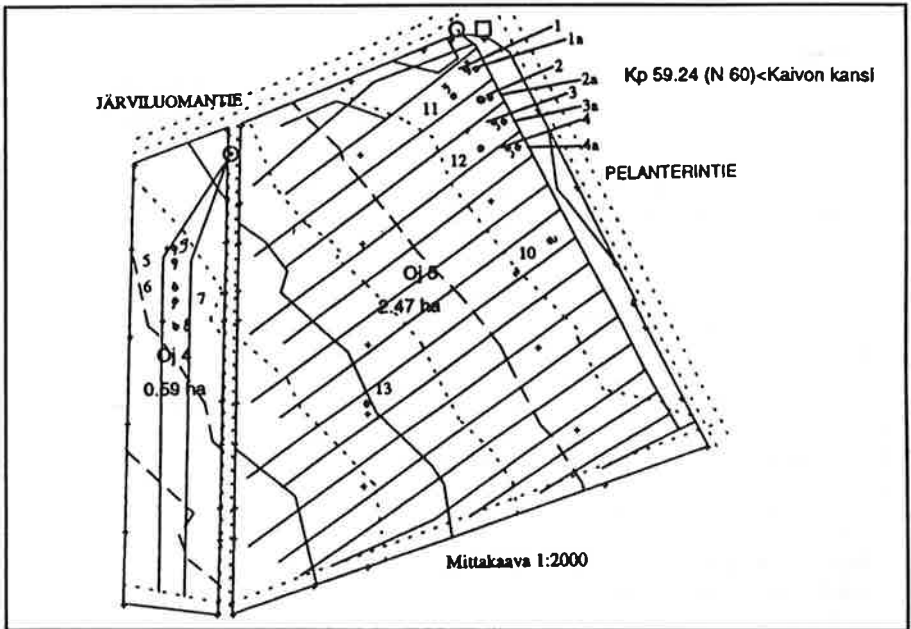
Säätöojituksen toimivuutta on seurattu Lapuan Ylikylässä, Pelanterin tilalla, vuodesta 1993. Koekäytössä on ollut kaksi peltolohkoa, joissa pohjaveden pinnan korkeutta on mitattu sekä automaattisilla antureilla että käsin. Lisäksi on tutkittu pohjaveden ja maaperän laatua ja satotasoa. Koealue on hietaa ja hiesua ja suhteellisen tasainen, minkä vuoksi säätöojitus soveltuu alueelle. Mittauksista käykin hyvin esille pohjaveden syvyyden vaihtelu eri osa-alueilla ja säädön vaikutus pohjaveden tasoon. Sitä vastoin vertailujen tekeminen veden laadun osalta on hankalaa. Pohjaveden ravinnepitoisuudet ja pH-arvo vaihtelivat hyvinkin paljon pellon eri osissa (Paasonen-Kivekäs et al 1994), mikä johtuu ennen kaikkea happamista sulfaattimaista. Seuraavassa esitetään pohjaveden pinnan korkeuden vuotuinen vaihtelu tammikuulta 1994 elokuulle 1995 sekä sen lyhytaikaisempaa vaihtelua yksittäisissä havaintoputkissa kesä-joulukuulla 1994. Koealueen satotuloksia ja säätöojituksen taloudellista kannattavuutta on esitetty toisaalla tässä julkaisussa.

Koealue ja mittaukset

Kuvassa 1 on esitetty tutkimusalueet ja niillä olevat pohjavesiputket. Molempien lohkojen imuojien väliä tihennettiin kaksinkertaiseksi, 10 metriin, vuonna 1993. Samalla ojaston 5 kokoojan laskuaukkoon asennettiin säätökaivo, jossa padotusta ohjataan laskuaukossa olevan L-putken avulla. Ojitussyvyys on noin 1.10 m. Ojaston 4 alue toimii nk. vertailualueena samoin kuin pohjavesiputken 13 ympäristö ojaston 5 keskellä. Ojaston 5 maanpinta imujen suunnassa viettää noin 1 %. Pintakerros on runsasmultaista hienoa hietaa ja sen paksuus on 25-35 cm. Pintamaan alapuolella on vielä 5-15 cm kerros hietaa ja pohjamaa on hiesua.

Pohjaveden korkeuksien ja laadun tarkkailua varten asennettiin kummallekin lohkolle aluksi yh-teensä 11 havaintoputkea ja toukokuussa 1994 asennettiin vielä kuusi putkea. Ojaston 5 alueella maanpinnan korkeusero putkien 1 ja 13 välillä on noin 80 cm. Putkien syvyys vaihtelee 1.0-2.5 metriin. Säätökaivon lähiympäristöön asennettiin neljään putkeen paineanturit, joilla mitataan pohjaveden pinnan korkeutta 15 minuutin välein. Automaattiset ja manuaaliset mittaukset antoivat varsin samansuuruisia tuloksia vuonna 1994, mutta sen jälkeen antureiden toiminnassa on ollut ongelmia.

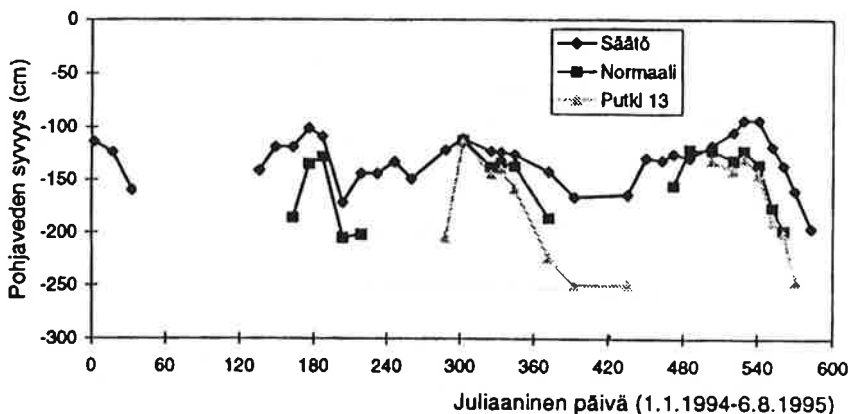
Meteorologisten suureiden mittausta varten pellon reunassa on sääasema. Sääaseman ja pohjavesiantureiden mittaukset siirretään dataloggerin ja radiolähttimen avulla tietokoneelle (Koivusalo ja Hyvönen 1994). Sadantaa mitattiin aluksi keräävällä sademittarilla, joka mittaa sataneen veden aiheuttamaapainetta. Kesäkuusta 1994 mittauksessa on käytetty vaakamittaria, joka punnitsee sataneen veden massan. Manuaalisista pohjavesimittauksista on huolehtinut tilanomistaja, salaajateknikko Kalevi Pelanteri. Lisäksi on mitattu maaperän fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia ja perunan satoa vuosina 1994 ja 1995.



Kuva 1. Lapuan koekenttä. Ojasto 4 normaalisti ojitettu ja osa ojastosta 5 säätöoitettu. Y =pohjavesiputki, □ =laskuaukko, i =säätökaivo ja a = pohjavesiputki mittausanturilla.

Pohjaveden syvyys koealueilla

Pohjaveden syvyydessä oli havaittavissa selvä vaihtelu sekä paikan että ajan suhteen. Pohjaveden pinta säätökaivon ympäristössä oli huomattavasti korkeammalla kuin vertailualueella ja ojaston 5 keskellä. Suurimmillaan ero oli yli metrin, elo-syyskuussa 1994 ja maaliskuussa 1995. Normaaliojitetulla koealueella pohjavesi nousi salaajitusyvytyteen vain alkukesällä ja syksyllä 1994 (kuva 2). Syksy 1995 oli niin kuiva, että pohjavedenpinta laski koko alueelle alle havaintoputkien tason. Kesäkuun alussa 1995 padotuskorkeutta nostettiin 30 cm, mikä näkyi selvästi myös pohjaveden korkeudessa.

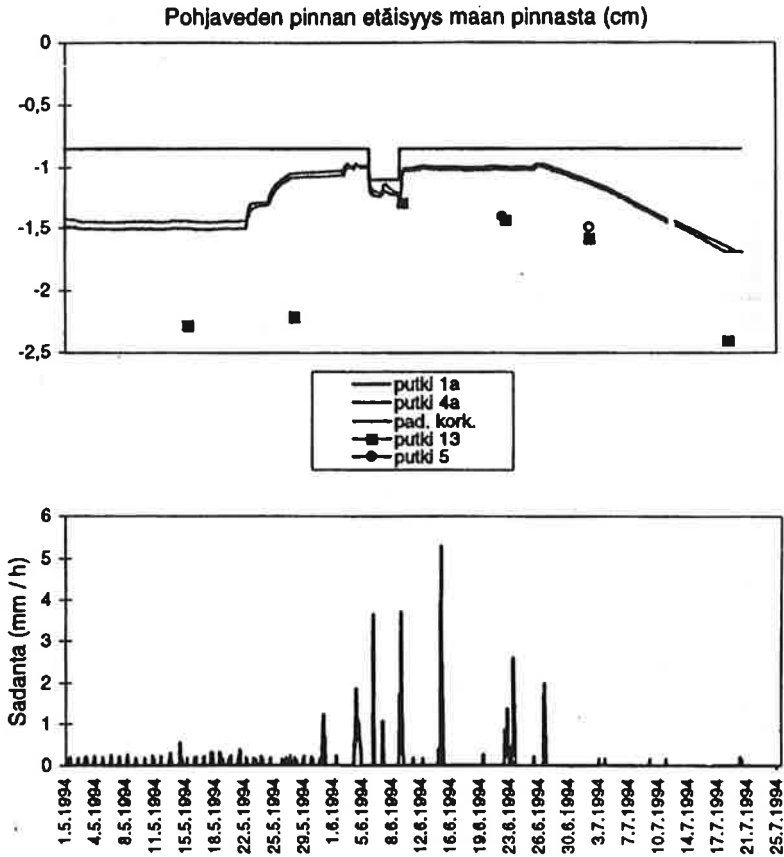


Kuva 2. Pohjaveden keskimääräinen syvyys maanpinnasta eri koalueilla. Säätöjitettu alue (putket 1-4 ja 10-12), normaalisti salaojitettu alue (putket 5-9 ja 13).

Kuvassa 3a on esitetty pohjaveden syvyyden automaattisia mittaussarjoja touko-heinäkuulta 1994. Putket 1a ja 4a edustavat säätöjitettua aluetta ja ne sijaitsevat noin 40 metrin päässä toisistaan kokoojan linjassa. Säätö aloitettiin 5.10.1993 ja se oli siitä lähtien yhtäjaksoisesti päällä. Havaintoputket 5 ja 13 edustavat normaalisti ojitettua aluetta. Näistä mittaukset suoritettiin manuaalisesti kahden viikon välein. Kuvassa 3b on saman ajanjakson keskimääräinen tuntisadanta. Sadannat laskettiin 15 minuutin välein mitatuista kumulatiivisista havainnoista siten, että tuntisadannat laskettiin kahdeksan havainnon liukuvana aritmeettisena keskiarvona.

Mittauksista käy esille, että pohjaveden pinta nousi välittömästi säädetyllä alueella kun sateet alkoivat toukokuun lopussa. Myös vertailualueilla pinta nousi, mutta mittausten vähäisyyden takia viivettä on vaikea arvioida. Kun sateet loppuivat kesäkuun lopussa, pohjaveden pinta laski jyrkästi molemmilla alueilla. Kesäkuun 8. päivänä säätökaivon padotusta laskettiin 25 cm. Tämän seurauksena pohjaveden pinta laski lähes yhtä paljon havaintoputkissa 1a ja 4a. Vastaavasti kesäkuun 12. päivänä tehty padotuskorkeuden nosto aiheutti pinnan välittömän nousun. Vertailualueella pohjaveden pinta oli koko ajan selvästi säädetyllä alueella alempana. Erityisen selvältä ero näytti sateettomina kausina touko-heinäkuussa, jolloin ero oli noin 80 cm. Sateiden aikana ero oli vähäisempi.

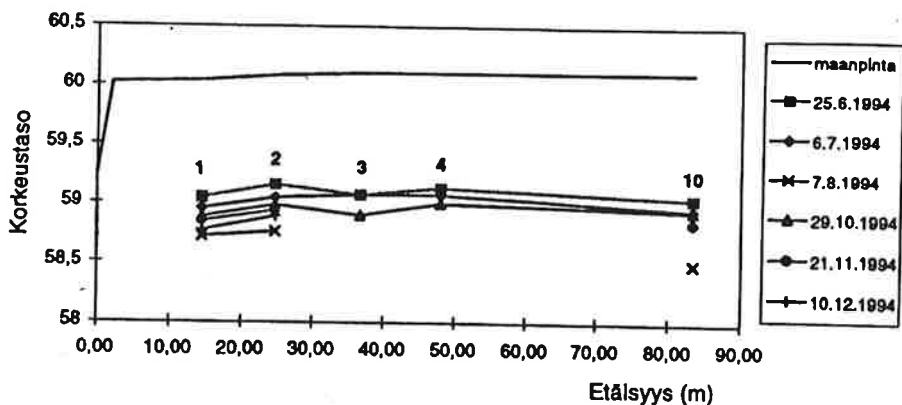
Pohjaveden pinnan korkeus vierekkäisten havaintoputkien välillä vaihteli suhteellisen vähän, sillä maanpinnan korkeusero on hyvin pieni. Kuvissa 4a ja 4b on esitetty pohjaveden pinnan vaihtelu havaintoputkien linjassa kunakin näytteenottoajankohtana. Kuvan 4a vaak akseli kuvaa havaintoputkien 1, 2, 3, 4 ja 10 etäisyyttä säätökaivosta ja kuvan 4b vaak akseli putkien 5, 7 ja 8 etäisyyttä putkesta 9 (ks. kuva 1). Tarkastelujaksona on kesäkuu-joulukuu 1994. Muutamien poikkeuksellisen suurien erot johtuvat todennäköisesti putkien omaisuksista ja/tai mittausten menetelmästä. Yleensä syvyyden mittaussarvot



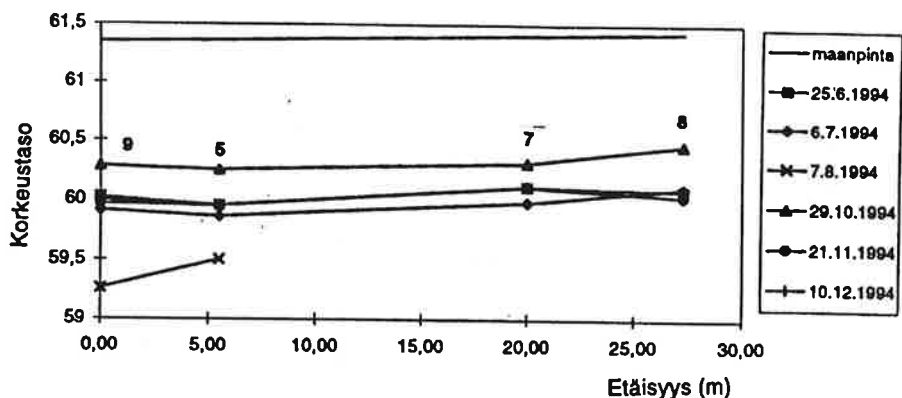
Kuva 3. (a) Pohjaveden pinnan etäisyys maanpinnasta säätöojitetulla ja vertailualueella ja (b) keskimääräinen tuntisadanta touko-heinäkuussa 1994.

ennen putken tyhjennystä ja näytteenoton yhteydessä olivat yhteneväiset.

Kuvan 4a perusteella padotuksen vaikutus näkyy selvästi putkissa 1 ja 2. Veden pinta oli tarkastelujaksolla korkeimmillaan kesäkuun lopulla ja matalimmillaan elokuun alussa. Eroa näiden ajankohtien välillä oli suurimmillaan linjan lopussa (putki 10) 55 cm. Syksyllä ja alkutalvella veden pinta ei vaihdellut 20 cm enempää koko 80 metrin matkalla. Veden pinta pysyi 100-140 cm syvyydessä koko tarkastelujakson ajan. Vertailualueella pinta oli korkeimmillaan lokakuun lopulla ja matalimmillaan elokuun alussa. Ero ajankohtien välillä oli noin 125 cm. Elokuun alussa pohjavesi laski niin alas, että havaintoja saatiin vain putkista 5 ja 9.



Kuva 4a. Pohjaveden pinnan korkeus säättöjitetun alueen havaintoputkissa.



Kuva 4b. Pohjaveden pinnan korkeus normaalisti salaajitetun alueen havaintoputkissa.

Johtopäätökset

Lapuan koekentän mittaukset osoittavat, että pohjaveden pinnan säätö toimii hyvin hietahiesumaassa. Säädetyt alueen automaattisten mittausten mukaan pohjaveden pinta reagoi nopeasti padotuksen muutoksiin ja sadantaan. Säädetyllä alueella pohjaveden pinta oli huomattavasti korkeammalla kuin vertailualueella varsinkin talvella ja keväällä. Kesällä veden pinta laski molemmilla alueilla jyrkästi, kun sateita ei esiintynyt. Koska peltolohkolla on vain yksi säätökaivo kokoojan laskuaukossa ja korkeusero imujen latvoille on yli metrin, niin padotuksen vaikutus näkyi selvästi vain säätökaivon ympäristössä ja kokoojan linjassa. Riittävä säätökaivojen määrä ja tihennetty ojitus onkin menetelmän

tehokkaan käytön edellyksenä. Pohjaveden syvyyden ja laadun mittausaineiston perusteella tullaan tarkastelemaan säätöituksen vaikutusta vesistökuormitukseen.

Kirjallisuusviitteet

Koivusalo, H. & Hyvönen P. (1994). Säätosalaajituspadotuskastelututkimusten koekenttien tiedonsiirtojärjestelmä ja -ohjelma. Teknillisen korkeakoulun monistesarja 1994:6, vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio, Espoo.

Paasonen-Kivekäs, M., Kylmälä, P., Sepahi, N. & Taskinen, A. 1994. Pohjaveden laadun ja syvyyden laadun vaihtelu peltoalueilla. Salaajituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 18: Sääto-salaajitus, tutkimustuloksia vuosilta 1992-1993. 52-82.

SATOTULOXSIA SÄÄTÖSALAOJITUKSEN JA PADOTUSKASTELUN KOEKENTILTÄ 1994-95

MMM Jouko Kleemola & MMM Matti Teittinen
Helsingin yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos

Johdanto

Säätösalaajituksen vaikutusta kasvien kasvuun käsiteltiin Tutkimusyhdistyksen tiedotteessa n:o 18. Tähän edelliseen katsaukseen verrattuna seurannasta poistui Suoharju Tuusulassa ja tilalle tulivat Lapuan ja Tyrnävän koekentät. Tuusulan kentän seurannasta luovuttiin, koska maa oli lähteistä (pohjaveden pinnan korkeus vaihteli runsaasti) eikä paikalta löytynyt samaa maalajia olevaa verrannealuetta. Kirkkonummen Sjäokullan ja Tyrnävän koalueilla testattiin padotuskastelun lisäksi pohjavesikastelua ja ravinteiden kierrätystä. Tähän liittyen Kirkkonummelle ja Tyrnävälle rakennettiin allas valumavesiä varten. Tarkempi kuvaus Tyrnävän ja Lapuan koekentistä löytyy toisaalta tästä tiedotteesta, Sjäokullan ja Lapuan koekentät on kuvattu Tutkimusyhdistyksen tiedotteessa n:o 18.

Pelloilta kerättävien kasvinäytteiden ottoa muutettiin hieman aikaisemmasta. Näytekokoa kasvatettiin ja näytteiden ottokertoja vähennettiin. Näytekokoa kasvattamalla pyrittiin pienentämään koehajontaa ja siten tuomaan esiin pienempiä eroja käsittelyiden väliltä.

Tutkimuksen tavoitteet

Aikaisemmin määritellyt tutkimusongelmat säilyttivät asemansa kehitysvaiheen seurantaa lukuunottamatta. Suurin mielenkiinto kohdistui padotus- ja pohjavesikastelun vaikutukseen viljelykasvien sadonmuodostukseen ja typenottoon. Tyrnävälle rakennettiin tätä tarkoitusta varten kaksoisputkitettu kierrätyskastelukoe ja Kirkkonummellakin kokeiltiin ravinteiden kierrätykseen liittyen kierrätyskastelua padotuskastelun rinnalla. Tyrnävällä mielenkiintoa koekenttää kohtaa lisäsi se, että ennen ojitusta alue oli vesitaloudeltaan niin epäedullinen, että sen viljely ei ollut taloudellisesti kannattavaa.

Aineisto ja menetelmät

Kokeellinen aineisto

Kokeista poistuneen turvemaan (Suoharju Tuusula) tilalle tuli kaksi uutta maalajiltaan hietaa olevaa koealuetta, Lapua ja Tyrnävä. Maalajiltaan savea ollut Kirkkonummen lohko säilyi seurannassa, vaikka runsaat kevätsateet vaikeuttivatkin viljelyä alueella. Taulukkoon 1 on kerätty yksityiskohtaisemmat viljelytiedot kustakin seurannassa olleesta alueesta.

Taulukko 1. Viljelytietoja säätösalaajituskentiltä 1994-1995.

	Vuosi	Kasvi	kylvö pvm	N-lannoitus	Sadonkorjuu
Kirkkonummi	1994	ohra (Arve)	12.5.	120 kg/ha	12.8.
	1995	ohra (Arve)	10.5.	110 kg/ha	23.8.
Lapua	1994	peruna (Posmo, Saturna)	23.5.	76 kg/ha	28-29.9.
	1995	peruna (Saturna)	20.5.	83 kg/ha	11.9.
Tyrnävä	1994	kaura (Leila)	12.5.	91 kg/ha	27.8.
	1995	peruna (Amazona)	11.5.	154 kg/ha *)	29.8.

* turpeeseen sekoitettua karjanlantaa 30 000 kg/ha, kokonais-N: 154 kg/ha, liukoinen-N: 37 kg/ha

Kuten edellä mainittiin, kasvinäytteiden kokoa kasvatettiin ja näytteiden ottokertoja harvennettiin. Kasvinäytteitä kerättiin hieman harvemmin kuin aikaisempina vuosina, sillä edellisten vuosien tulokset osoittivat, että säätöajitus ei juurikaan vaikuta kasvien kehitysrytmiin. Kehitysrytmiä seurattaessa näytteitä kerättiin jopa viikon välein, mutta nyt näytteitä voitiin ottaa kahden kolmen viikon välein. Viljoilla yksittäisten kasviyksilöiden sijaan kultakin koealalta otettiin vuonna 1994 kolme x kolme 0.25 m mittaista näytettä satunnaisesti valituista kylvöriveistä. Vuonna 1995 näytekoko kasvatettiin edelleen (0.25 m -> 1.0 m) hajonnan pienentämiseksi mutta samalla näytemäärää / alue vähennettiin kolmeen. Perunan osalta näytteenottotapaa ei muutettu, koska peruna kylvetään huomattavasti harvempaan kuin viljat eikä tällöin näytteenottotavan muuttaminen yksittäisistä kasveista (15 kpl / alue) rivikohtaiseksi lisäisi näytekokoja eikä myöskään pienentäisi hajontaa. Kuitenkin työ määrän pienentämiseksi vain viisi perunanäytettä / alue fraktioitiin mukuloihin, varsiin ja lehtiin ja vain niistä mitattiin lehtiala. Lopuista kymmenestä mitattiin vain mukuloiden ja maanpinnan yläpuolisten osien tuorepainot.

Simulointitutkimus

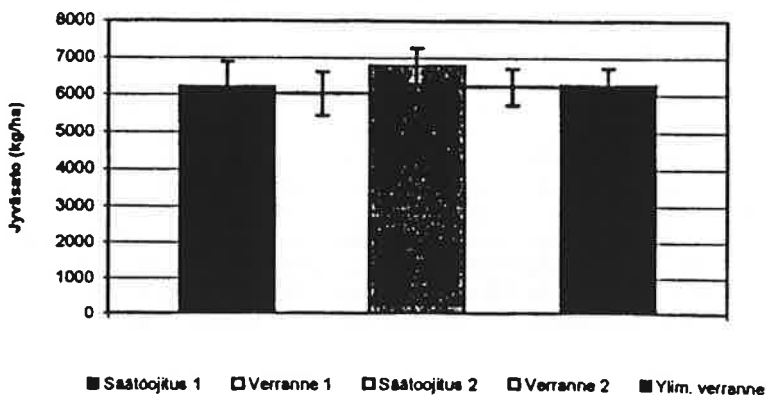
Vuosina 1994 ja 1995 Tyrnävällä saatujen satotulosten perusteella (1994: kaksoisputkitetulta alueelta suurempi sato kuin normaalioiditetulta; 1995: kaksoisputkitetulla alueella saman suuruinen sato kuin normaalioiditetulla) heräsi kysymys, millaisissa sääoloissa tiheä ojitus kannattaa. Asiaa tutkittiin matemaattisen mallin avulla. Simulointitutkimuksessa laskettiin kahden kuvitteellisen pellon satoja vuosina 1970-1989. Toinen pelloista sijaitti Helsingissä ja toinen Oulussa. Molemmat pellot oletettiin samankaltaisiksi kuin Tyrnävän koekenttä: hyvin vettä läpäisivä maalaji (KHt) sekä seuraavat ojituskäsittelyt: normaali ojitus (15m ojaväli), padotuskastelu 15m ojavälillä sekä padotuskastelu 5m ojavälillä. Yksinkertaisuuden vuoksi Tyrnävällä käytettyä kaksoisputkistusta (110cm syvyydessä oleva kuivatusputkisto - 60-70cm syvyydessä oleva kasteluputkisto) ei siis simuloitu sellaisenaan. Kuviteltu ohralajike vastasi ominaisuuksiltaan Pomo -ohraa. Malli kalibroitiin Tyrnävällä 1994 kerätyllä aineistolla.

Tulokset

Kokeellinen aineisto

Vuonna 1994 alkukesä oli Etelä-Suomessa normaalia runsassateisempi ja kasvustot eivät kärsineet normaalista kevätkuivuudesta. Sen sijaan heinäkuu oli niin kuiva, että sääätösala-oidituksestakaan (padotus) ei näyttäisi olleen hyötyä (kuva 1), koska maassa ei yksinkertaisesti ollut vettä mitä varastoida. Koealueiden keskisadoissa oli pieniä eroja mutta, koska yksittäisten näytteiden välinen hajonta oli noin 20 %, niin säätojoituksen ei voitu osoittaa tilastollisesti merkitsevästi vaikuttavan satoihin.

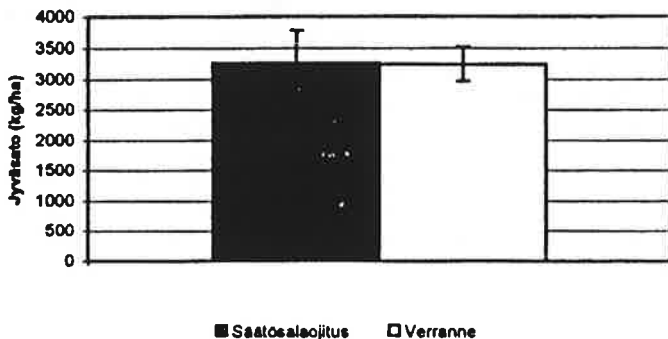
Kirkkonummi, Ohra 1994



Kuva 1. Ohran jyväsadot (kg kuiva-ainetta /ha) Kirkkonummella 1994.

Vuonna 1995 koealue kylvettiin juuri ennen äitienpäiviäviikonlopun räntä- ja rankkasateita. Koko peltoalue kuorettui pahoin ja tämä näky selvästi satotuloksista. Koealue 1 kuorettui niin pahoin, että alueelta ei kannattanut ottaa näytteitä lainkaan. Edellisvuotiseen tapaan kesällä satoi vähän eikä käsittelyiden välille saatu selvää eroa (kuva 2).

Kirkkonummi, Ohra 1995

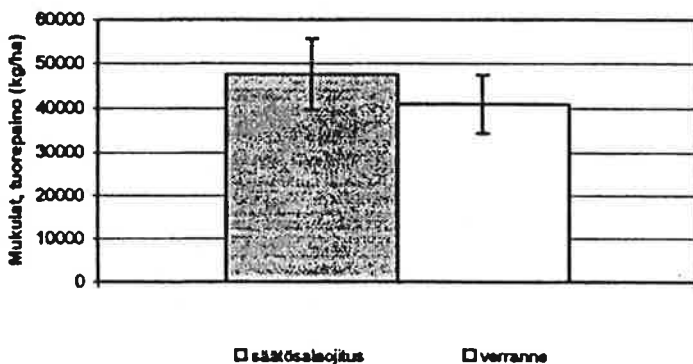


Kuva 2. Ohran jyväsadot (kg kuiva-ainetta / ha) Kirkkonummella 1995. Koealueet samat kuin kuvan 1 alueet säätöojitus 2 ja verranne 2.

Lapualta ei saatu vuonna 1994 vertailukelpoisia tuloksia, koska koepelloilla viljellyt perunalajikkeet olivat erilaiset.

Vuonna 1995 perunan mukulasato (tuorepaino) oli säätöojitetulla alueella 15% suurempi kuin tavanomaisesti ojitetulla alueella (kuva 3). Hajonta oli jälleen kuitenkin niin suurta, ettei ero ollut tilastollisesti merkittävä.

Peruna, Lapua 1995

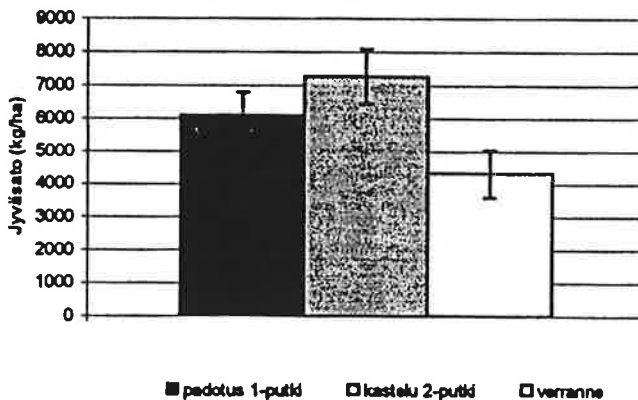


Kuva 3. Perunan mukulasadot (tuorepaino, kg/ha) Lapualla 1995.

Tyrnävällä koejäseninä olivat kierrätyskastelu normaalilla ja kaksoisjoituksella ja verranne (ei kastelua - ei kuivatusta). Kierrätysalueella oli joko normaali yksinkertainen salaojitus, missä pohjaveden pinnankorkeutta säädeltiin padotuskaivojen avulla tai kaksoisjoitus, jossa oli normaalin salaojituksen lisäksi erillinen pinnemmassa oleva kasteluputkisto kohtisuorassa kuivatusputkistoon nähden. Kasteluvesi otettiin joko valuma-altaasta tai läheisestä joesta.

Tyrnävän koelue oli juuri ennen kokeen alkamista otettu uudelleen viljelyyn perunan kasvatusta varten. Vuonna 1994 alueelle kylvettiin kuitenkin perunan sijasta kauraa, koska rikkakasvien torjuminen on helpompaa viljasta kuin perunasta. Kaksoisputkitetun alueen sato oli 68% suurempi ja normaalihoitotun kastelualueen sato 41% suurempi kuin verrannealueella (kuva 4). Kaksoisputkitetun alueen sato oli 19% suurempi kuin normaalihoitotun kastelualueen sato. Kasteltujen alueiden sadot erosivat tilastollisesti merkitsevästi verrannealueen sadosta, mutta sen sijaan kaksoisputkitetun ja normaalihoitotun kastelualueen satojen välillä ei ollut tilastollista eroa.

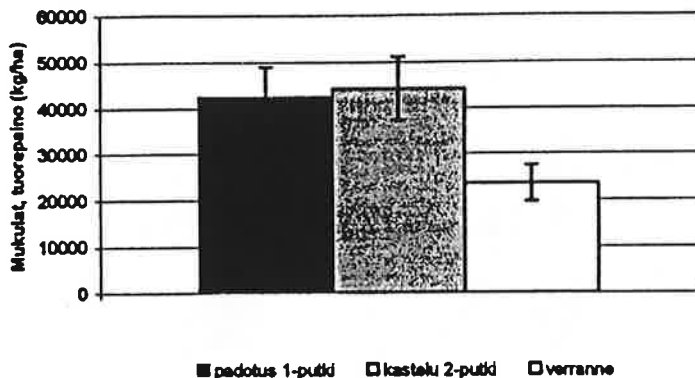
Kaura, Tyrnävä 1994



Kuva 4. Kauran jyväsadot (kg kuiva-ainetta /ha) Tyrnävällä 1994.

Vuonna 1995 koekasvina oli peruna. Kaksoisputkitetun alueen sato (kg/ha) oli 88% suurempi ja normaalihoitotun kastelualueen sato 80% suurempi kuin verrannealueella (kuva 5). Kaksoisputkitetun alueen sato oli vain 4% suurempi kuin normaalihoitotun kastelualueen sato. Kasteltujen alueiden sadot erosivat tilastollisesti merkitsevästi verrannealueen sadosta, mutta sen sijaan kaksoisputkitetun ja normaalihoitotun kastelualueen satojen välillä ei ollut tilastollista eroa.

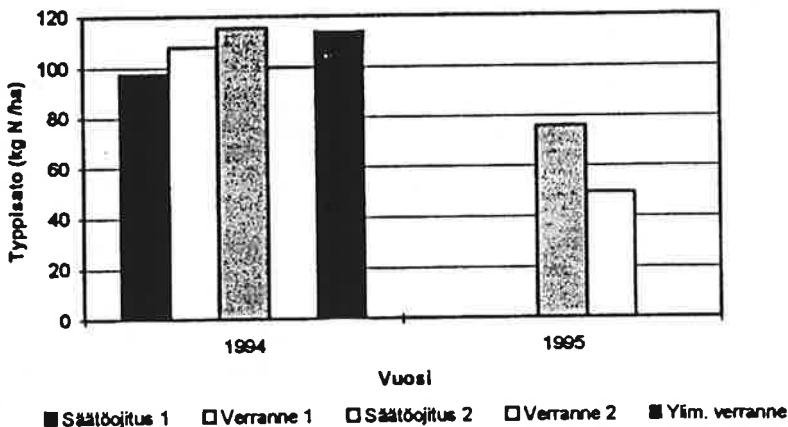
Peruna, Tyrnävä 1995



Kuva 5. Perunan mukulasadot (tuorepaino kg/ha) Tyrnävällä 1995.

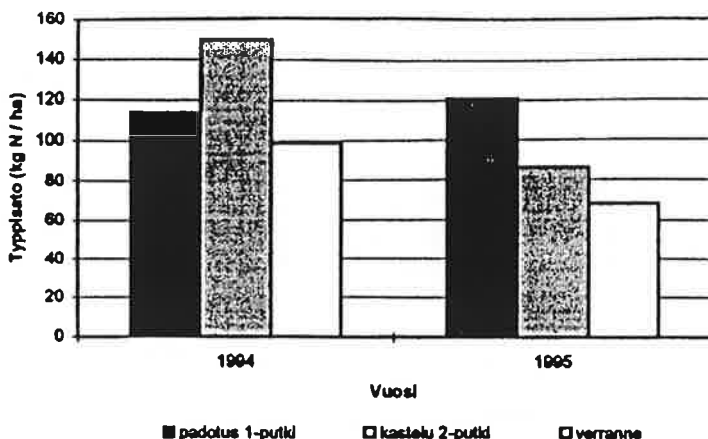
Satokomponenttien määrän (kg/ha) lisäksi kasvinäytteistä mitattiin typpipitoisuus (%) ja sitä tietä pellolta sadon mukana poistuneen typen määrä (kg N / ha) (kuvat 6 ja 7). Tulosten perusteella nähtiinselvästi, että kasvinosien typpipitoisuudet pysyivät samalla tasolla pohjavedenpinnan säätelystä riippumatta. Tästä seuraa, että niinä vuosina jolloin pohjavedensäätely lisää kasvua ja satoa, määrällisesti (kg N / ha) enemmän typpeä sitoutuu kasveihin.

Kirkkonummi



Kuva 6. Sadon mukana pellolta poistuneen typen määrä (kg N / ha) Kirkkonummella.

Tyrnävä



Kuva 7. Sadon mukana pellolta poistuneen typen määrä (kg N / ha) Tyrnävällä.

Simulointitutkimus

Taulukossa 2 on esitetty simuloitu ohran keskimääräinen sadonlisä 1970-1989 eri ojitustavoilla sekä satovaihtelu (CV%, variaatioprosentti eli keskihajonta/keskiarvo*100) tämän jakson aikana. Taulukosta nähdään, että Helsingin olosuhteissa padotuskastelu on tuottanut suurempia sadonlisäjä kuin Oulun korkeudella. Ero paikkakuntien välillä johtuu tässä tapauksessa siitä, että Oulun korkeudella on pienempi sadannan vajuus kuin etelämmässä. Veden puutteesta johtuva kasvun hidastuminen ei ole niin todennäköistä pohjoisemmassa Suomessa. Sarake CV% kuvaa satovaihtelun suuruutta vuosien välillä. Se laskettiin erikseen molemmille paikkakunnille. Padotuskastelu tasoitti huomattavasti satovaihteluita vuosien välillä, koska CV% laski lähes 30%:sta alle kymmeneen molemmilla ojaväleillä. Suuri CV% normaalilla ojavälillä ilman kastelua osoittaa, että käytetty maalaji on hyvin poudanarka.

Taulukko 2. Simuloitu ohran keskimääräinen sadonlisä 1970-1989 eri ojitustavoilla sekä satovaihtelu tämän jakson aikana.

Paikka	Ojitus	Sadon lisäys verrattuna normaaliojitukseen, %	CV, %
Helsinki	Normaali ojitus		28
	Normaali ojitus, padotuskastelu	16	20
	Tiheä ojitus, padotuskastelu	36	9
Oulu	Normaali ojitus		27
	Normaali ojitus, padotuskastelu	13	16
	Tiheä ojitus, padotuskastelu	27	7

Taulukosta 3 näkyy, kuinka monena vuotena saadut sadonlisät ylittivät tietyn prosenttimäärän. Ero tiheällä ja normaalilla ojavälillä toteutetun padotuskastelun välillä on selvä, varsinkin jos tarkastellaan suuria, yli 50% sadonlisiä. Kaksoisputkitetulla alueella sato nousi lähes joka vuosi (17/20) vähintään 10% eteläisissä olosuhteissa ja melkein yhtä usein (13/20) pohjoisemmassa.

Taulukko 3. Vuosien lukumäärä (maksimi 20), jolloin saadut sadon lisät ylittivät tietyn prosenttimäärän.

Paikka	Ojitus	Vuosien lkm				
		Sadonlisä, %				
		>10	>30	>50	>70	>100
Helsinki	Normaali ojitus, padotuskastelu	12	5	1	1	0
	Tiheä ojitus, padotuskastelu	17	9	7	5	2
Oulu	Normaali ojitus, padotuskastelu	10	4	2	1	0
	Tiheä ojitus, padotuskastelu	13	6	5	5	3

Johtopäätökset

Keskimääräiset sadonlisät olivat tiheällä ojituksella simulointitutkimuksessa suuria, keskimäärin noin 30% kahdenkymmenen vuoden jakson aikana. On kuitenkin huomattava, että vastaavanlaisia maalajeja ei Suomessa ole kovin paljoa. Maan veden johtavuuden ollessa pieni kasteluputkien on oltava lähellä toisiaan ja ne on sijoitettava matalalle, jos halutaan saada yhtä suuria sadonlisiä kuin Tyrnävän koealueella.

Tutkimuksemme mukaan satoerot ojitustapojen välillä olivat suhteellisen suuret. Kumpi ojitustavoista on taloudellisesti kannattavampi, riippuu tiheämmän ojituksen aiheuttamista lisäkustannuksista. Padotuskastelun tuoman sadonlisän on tietysti kyettävä kattamaan aiheutuvat kustannukset, jotta sijoitus olisi kannattava. Timo Mattilan ym. (artikkeli tässä tiedotteessa) tekemien laskelmien mukaan padotuskastelujärjestelmän rakentaminen viljan kasvatusta varten ei kannata tuotteesta saatavan alhaisen hinnan vuoksi.

Tuloksemme osoittivat, että hyvin vettä johtavilla maalajeilla padotuskastelulla voidaan selvästi nostaa satoja. Näytteenottoteknisistä syistä mitatut sadot olivat tässä tutkimuksessa suuria verrattuna pelloilta yleensä saataviin satoihin, mutta suhteelliset erot eri koejäsenien välillä säilyvät samoina näytteenottotavasta riippumatta. Lisäksi voidaan myös olettaa, että pohjaveden pinnan säätely paransi joko typen nettomineralisaatiota maaperässä tai lannoitetypen käytön tehokkuutta, koska kasvien ottama typpimäärä kasvoi sadon mukana.

VALUMAVESIEN KIERRÄTYS JA PADOTUSKASTELU TYRNÄVÄN KOEALUEELLA

TkL Maija Paasonen-Kivekäs, apul.prof.Tuomo Karvonen
ja mmyo Noor Sepahi
Teknillinen korkeakoulu,
vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio

Johdanto

Valumavesien kierrätystä padotuskastelua käyttäen on tutkittu Tyrnävällä sijaitsevalla peltoalueella kahdella eri ojitustavalla. Koealueelle rakennettiin tutkimusta varten varastoallas, tavallinen ja kahdessa kerroksessa oleva salaojitus, säätökaivot sekä pumppaamo yhteistyössä paikallisen viljelijän, Suomen Salaojakeskuksen (Oulu) ja Teknillisen korkeakoulun kanssa. Koko 8 hehtaarin peltoalue on tasaista hietamaata, minkä vuoksi se soveltuu hyvin pohjaveden pinnan säätöön. Kastelun järjestäminen oli perustelua, sillä pellot kärsivät kuivuudesta lähes joka kesä eikä niiden viljely ilman kastelua ole mielekästä.

Valumavesien kierrätyksen tavoitteena on varastoida ravinnepitoiset valumavedet erilliseen altaaseen, josta ne pumpataan takaisin pellolle. Näin vesistöön joutuva kuormitus pienenee ja satotaso kasvaa kastelun seurauksena. Kierrätystä ja padotuskastelua kahdessa kerroksessa olevalla putkistolla on tutkittu mm. Yhdysvalloissa, Iowan osavaltiossa, vuodesta 1988 lähtien. Kaksikerrosojituksen avulla oletetaan padotuskastelun tehostuvan verrattuna tilanteeseen, jossa samaa ojastoa käytetään sekä kuivatukseen että kasteluun (Karvonen 1992, Melvin & Kanwar 1995). Tyrnävän koealueen lisäksi valumavesien varastointia ja kierrätystä on tutkittu Kirkkonummella sijaitsevalla koealueella (Sjökulla) vuosina 1994-95 (Paasonen-Kivekäs et al 1996). Padotuskastelu toimi huonosti savimaassa, mikä johtui paitsi maan erittäin pienestä vedenjohtavuudesta myös Sjökullan pellon kaltevuudesta ja vanhasta salaojituksesta. Kastelun vaikutus oli hyvin epätasainen ja ulottui vain imuojien läheisyyteen. Typpipitoisuudet itse altaassa pienenevät huomattavasti kesän ja alkusyksyn aikana.

Pohjaveden pinnan korkeutta ja laatua, maaperän ominaisuuksia ja kasvustoa koskevia mittauksia on tehty Tyrnävällä kesäkuusta 1994 lähtien. Pohjaveden laatu vierekkäisissäkin havaintoputkissa on vaihdellut suuresti, mikä on tullut ilmi myös Lapualla ja Kirkkonummella sijaitsevilla koealueilla (Paasonen-Kivekäs et al 1994, 1996). Tämän vuoksi menetelmien mahdolliset vaikutukset veden ravinnepitoisuuksiin eivät käy ilmi ko. koeolosuhteissa. Lisäksi Tyrnävän altaaseen pumpattiin kasteluvettä myös läheisestä joesta, mikä vääristi pitoisuuksien luonnollista muutosta. Sitä vastoin kentämittausten perusteella

on saatu esille selvät erot pohjaveden syvyydessä ja satotasossa. Artikkelissa esitellään Tyrnävän koealue ja tuloksia pohjaveden pinnan korkeuksista vuosilta 1994-1995. Satotuloksia sekä padotuskastelun taloudellista kannattavuutta tarkastellaan toisaalla tässä tiedotteessa (Kleemola & Teittinen 1996; Mattila et al 1996).

Koealue

Koekenttä sijaitsee Pohjois-Pohjanmaalla Ängeslevänjoen varrella. Tutkimuskohteena olevat pellot ovat vuokralla maanviljelijä Lauri Anttilalla. Ennen tutkimuskäyttöä pelto oli avo-ojitettu ja nurmikesannolla. Koekenttää alettiin rakentaa marraskuussa 1993, jolloin pellot salaojitettiin ja sinne asennettiin säätökaivot. Peltojen ja joen välissä on heinää ja pensaikkoo kasvavaa joutomaata, jonne varastoallas pystyttiin vaivattomasti rakentamaan. Kesäkuussa 1994 alueelle asennettiin sääasema ja pohjavesiputkia sekä automaattinen mittaus- ja tiedonsiirtojärjestelmä.

Tyrnävän koekenttä koostuu kolmesta erilaisesta alueesta ja koko ojastoa voidaan käyttää padotuskasteluun. Alueen ojitus on esitetty kuvassa 1. Ojastojen 1 ja 2 alueella (5.53 ha) on noin 1.10 metrin syvyydessä oleva salaojitus (normaalojitus), jota käytetään sekä kuivatukseen että padotuskasteluun. Ojastoon pumpataan vettä altaasta. Ojaston 3 alueella (2.47 ha) on omat putkistonsa kuivatukseen ja padotuskasteluun (kaksikerrosojitus). Kaistale kaksoisputkitalueen reunasta jätettiin vertailualueeksi, jossa ei ole ojitusta eikä kastelua. Koealueella on havaittavissa selvä kerroksellisuus maalajien suhteen. Pintamaan alapuolella on noin 110-130 cm asti hietaa, jonka alapuolella maalaji muuttuu tiiviksi hiesuksi. Kaksikerrosojituksen alueella ja vertailualueella hietamaa on jonkin verran karkeampaa kuin ojaston 1 ja 2 alueella.

Kasteluvesi pumpataan altaasta jakokaivoon (kaivo 3), josta se virtaa salaojiin. Imuojat on yhdistetty molemmista päistään kokoojiin (\varnothing 65-80, reiätön), joihin voidaan ohjata kasteluvettä. Kesällä 1994 vettä pumpattiin molempiin kokoojiin, mutta kesällä 1995 vain imujen latvoille. Kasteluveden ohjausta ja padotusta varten ojastoissa on useita säätökaivoja (betonirengaskaivo). Vettä pumpattiin 6-8 mm/ha/vrk lähes jatkuvasti kesä-elokuussa (1994 ja 1995) ja osa siitä virtasi takaisin altaaseen. Pumppauksen ja kasteluveden ohjausta ei ole automatisoitu, vaan viljelijä tekee sen harkintansa mukaan. Lisävettä on mahdollista pumpata myös joesta altaaseen.

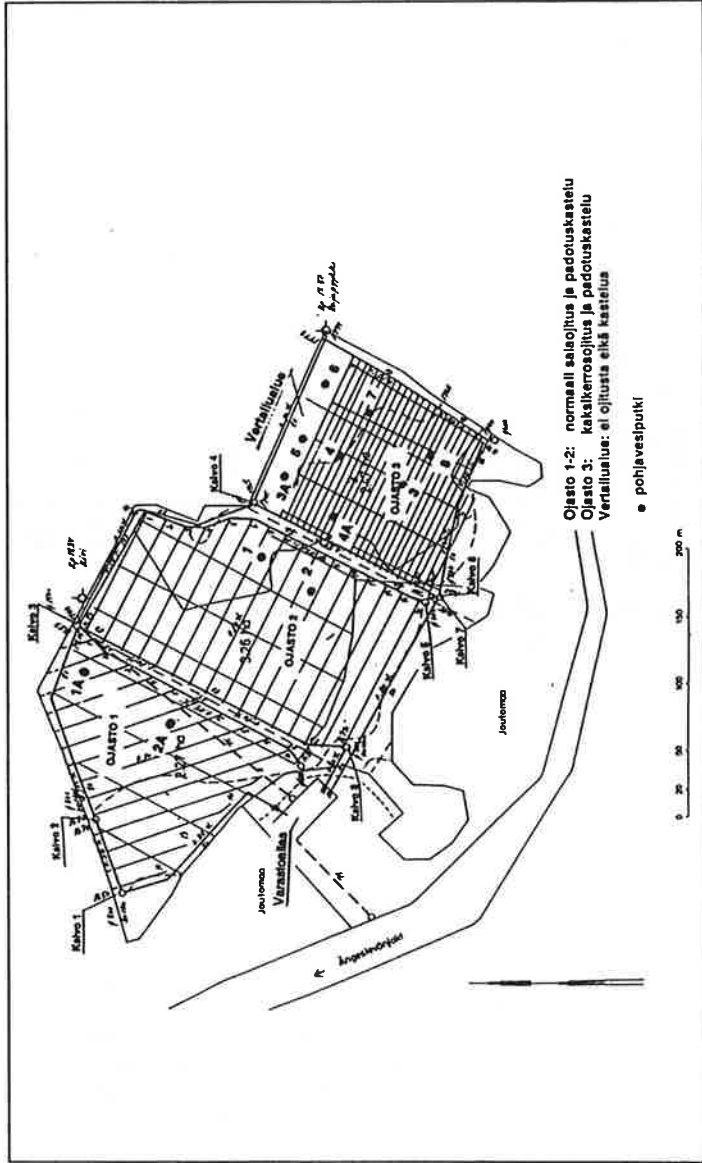
Ojaston 1 ja 2 imuojat (\varnothing 40 kookosputki) ovat noin 14 metrin välein. Kummankin ojaston alueella on kaksi padotuskaivoa. Kaksikerrosojituksessa kastelu- ja kuivatusputket ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan. Kasteluputket (\varnothing 40) ovat noin 60-70 cm syvyydessä 4 metrin välein ilman ympärysainetta. Putkiston kokoojat on yhdistetty kaivoon 4 (kasteluveden ohjaus) ja kaivoon 6, joka on yhdistetty edelleen kaivoon 7. Kuivatusputket (\varnothing 40 kookosputki) ovat noin 1.10 metrin syvyydessä 30 metrin välein. Näiden kokooja on yhdistetty säätökaivoon 7, josta vesi purkautuu edelleen altaaseen.

Mittaukset ja näytteenotto

Vuosina 1994-1995 tutkimuskohteena oli kolme osa-aluetta: ojaston 2 itäreuna (normaaliojitus), ojasto 3 (kaksikerrosojitus) ja vertailualue. Alueilla, joissa mittauksia suoritettiin, viljeltiin vuonna 1994 kauraa (lajike Leila) ja 1995 perunaa (lajike Amazone). Säätilaa, pohjaveden korkeutta, veden laatua, maaperän ominaisuuksia ja kasvustoa kuvaavia muuttujia mitattiin kesäkuusta 1994 lähtien. Osa mittauksista tehtiin automaattisia laitteita käyttäen ja osa manuaalisesti. Automaattisen mittausjärjestelmän avulla seurattiin säätelkijöitä ja pohjaveden pinnan korkeutta noin 15 minuutin välein. Mittausjärjestelmä rekisteröi myös pumppujen käyntiajan, mutta ei kasteluveden määrää (Koivusalo & Hyvönen 1994). Sekä antureiden että tietokoneen toiminnassa oli häiriöitä, minkä vuoksi havaintosarjat em. muuttujista eivät ole täydellisiä. Vesi- ja kasvustonäytteiden otosta huolehti salaojateknikko Veikko Karioja. Vesi- ja maanäytteiden analysointi tehtiin TTK:n vesitalouden laboratoriossa Otaniemessä ja kasvustonäytteiden analysointi Helsingin yliopiston kasvinviljelytieteen laitoksella Viikissä.

Pohjavesiputkia oli kaikkiaan 12, joista 3-4 putkessa (putket 1A-4A) oli paineanturi pohjaveden syvyyden mittausta varten (kuva 1). Havaintoputket asennettiin noin 140-190 cm syvyyteen. Asennusvaiheessa, kesällä 1994, putkien pään suhteellinen korkeusasema maanpinnalla vaihteli välillä 17.91-18.37 ja pohjan 16.38-16.76. Putket ovat PVC-muovia ja niiden ympärillä on huokoinen suodinaine. Pohjaveden pinnan syvyyttä mitattiin manuaalisesti kaikista putkista 1-2 viikon välein. Vesinäytteitä otettiin pohjavesiputkista 1-8, joista putket 1 ja 2 edustavat normaaliojituksen ja putket 3, 4, 7 ja 8 kaksikerrosojituksen aluetta. Vertailualueen tilannetta kuvaavat havaintoputket 5 ja 6. Ennen näytteenottoa pinnan korkeus mitattiin ja sen jälkeen putket tyhjennettiin. Vesinäyte otettiin muutaman tunnin päästä putken tyhjentämisestä ja sen yhteydessä mitattiin uudestaan myös pinnan korkeus.

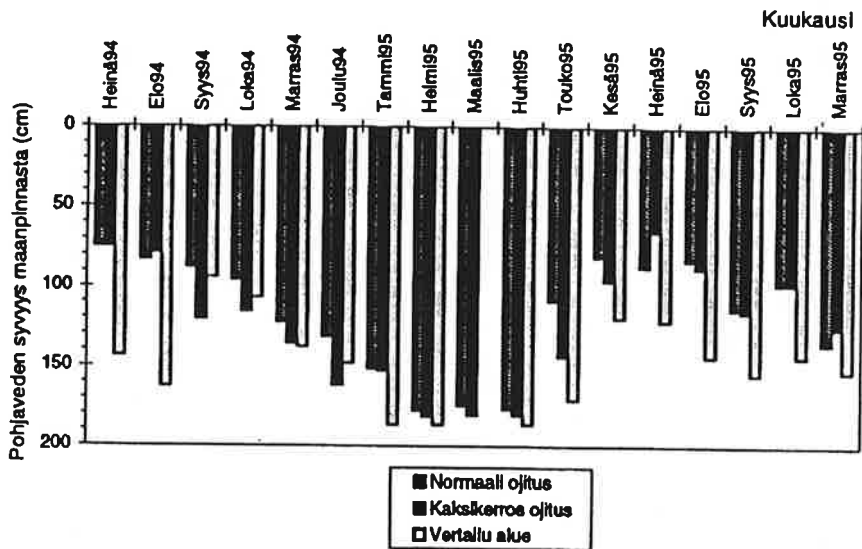
Salaojista purkautuvan veden määrää ja laatua mitattiin kahdessa kaivossa, joihin asennettiin mittapato ja paineanturi kesäkuussa 1995. Altaan pohjoispäässä on mittapato, josta otettiin vesinäytteitä virtaamatilanteissa. Altaasta otettiin vesinäytteitä kolmesta pisteestä noin 30 cm pinnan alapuolelta. Vesinäytteistä tehtiin seuraavat analyysit: pH, kiintoaine, ammonium, nitriitti-, nitriitti+ nitraatti- ja kokonaistyyppi sekä fosfaatti- ja kokonaisfosfori. Nitriitti- ja fosfaattifosforimääritys tehtiin kevästä 1995 lähtien suodatetuista näytteistä ja muut analyysit suodattamattomista näytteistä standardiohjeiden mukaan (Paasonen-Kivekäs et al. 1994). Maaperänäytteitä otettiin useammasta 0-120 maaprofilista 30 cm välein touko-lokakuussa. Niistä mitattiin seuraavat ominaisuudet: ammonium- ja nitraattityppi, pH, orgaaninen aines ja kosteus. Lisäksi eri maakerroksista määritettiin fysikaalisia ja hydraulisia ominaisuuksia.



Kuva 1. Tyrvään koealueen ojastot, säätökaivot ja pohjavesiputket.

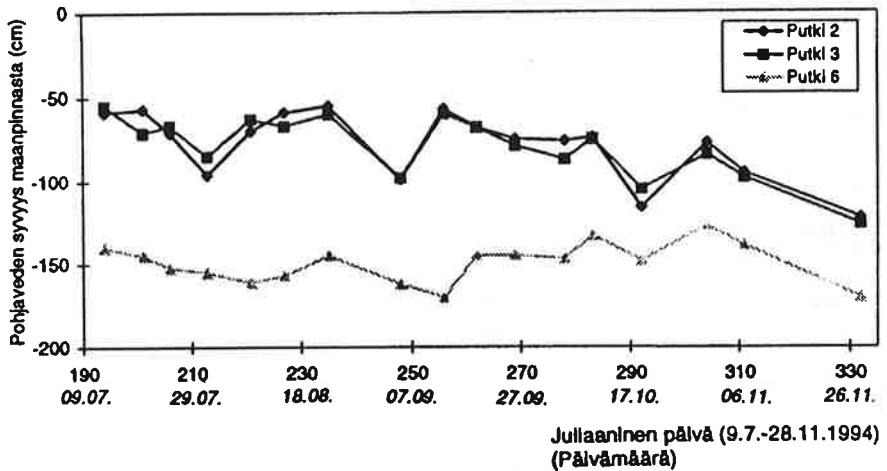
Pohjaveden syvyys eri koalueilla

Padotuskastelun vaikutuksesta pohjaveden pinta sekä normaalioidituksen että kaksikerrosoidituksen alueella oli selvästi korkeammalla kuin vertailualueella. Sitä vastoin systemaattista eroa eri ojitusmenetelmien välillä ei pystytty havaitsemaan. Kuvassa 2 on esitetty keskimääräinen pohjaveden syvyys maanpinnasta kullakin osa-alueella. Heinä-elokuu 1994 ja elokuu 1995 olivat poikkeuksellisen vähäsaateisia. Tällöin vedenpinta vertailualueella oli 140-150 cm maanpinnan alapuolella ja kastelluilla alueilla 60-80 cm. Tästä pohjavesi laski jyrkästi syksyä kohti ollen keväällä lähes samalla syvyydellä koko peltoalueella. Vuonna 1994 kastelu aloitettiin kesäkuun alussa ja vuonna 1995 touko-kesäkuun vaihteessa ja sitä jatkettiin elokuun lopulle saakka molempina vuosina. Vertailualue on kaksikerrosoidituksen reunassa, minkä vuoksi kasteluvesi todennäköisesti vaikuttaa jonkin verran myös ko. havaintoihin.



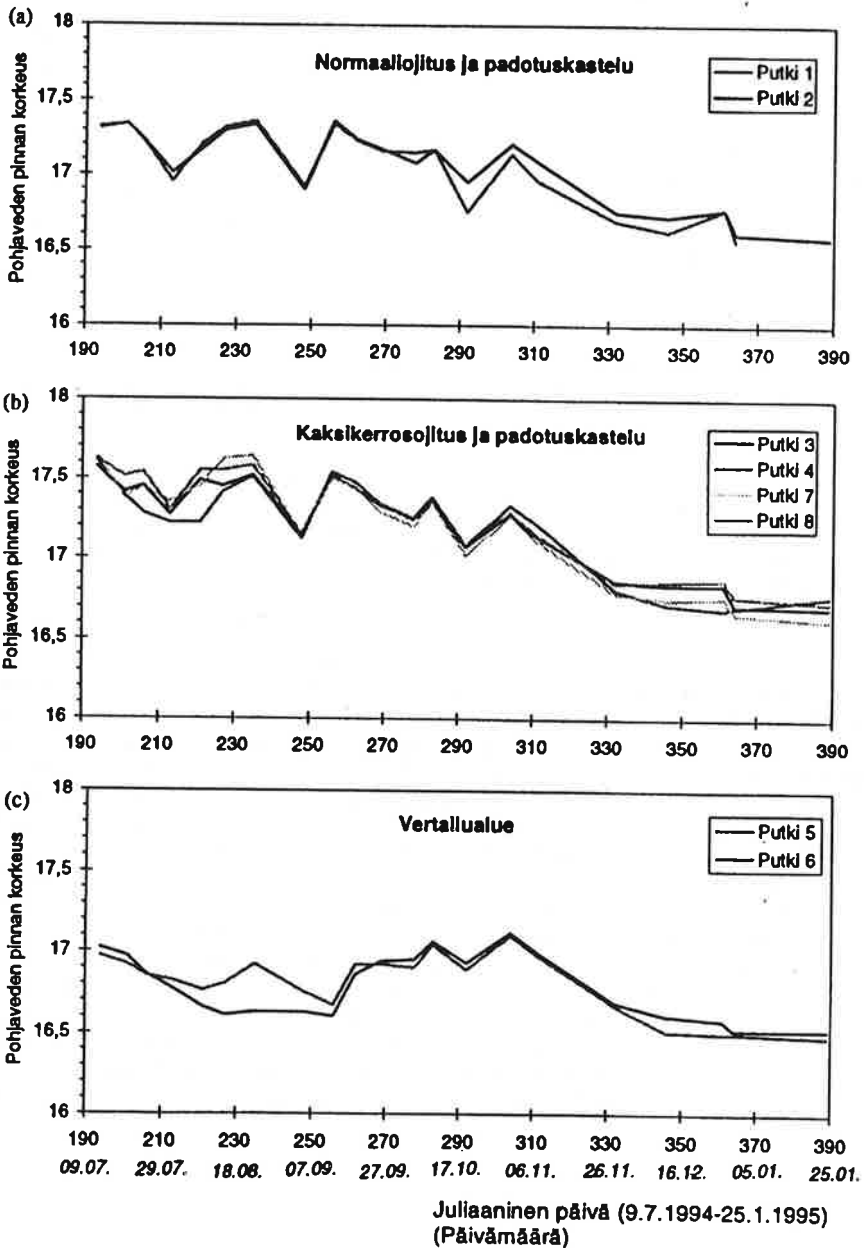
Kuva 2. Pohjaveden etäisyys maanpinnasta Tyrnävän koalueella eri ojitussysteemeissä, heinäkuu 1994-marraskuu 1995.

Kuvassa 3 on esitetty mittaustuloksia yksittäisistä havaintoputkista, jotka ovat lähes samassa korkeustasossa eri osa-alueilla. Putki 2 sijaitsee normaalioidituksen ja putki 3 kaksikerrosoidituksen alueella ja putki 6 vertailualueella. Putkissa 2 ja 3 pohjaveden syvyys oli lähes samanlainen koko tarkastelujakson ajan ja suurimmillaan ero oli vain 14 cm. Maalajin ja ojituksen lisäksi vaihteluun vaikuttaa myös mittausten menetelmästä, kuten havaintoputkien sijainti imuihin ja säätökaivoihin nähden.



Kuva 3. Pohjaveden etäisyys maanpinnasta Tyrnävän koalueella eri ojitussysteemeissä heinä-marraskuussa 1994. Putki 2: normaali-*ojitus*+*padotuskastelu*; putki 3: *kaksikerrosojitus* +*padotus-kastelu*; putki 7: *vertailualue ilman ojitusta ja kastelua*.

Kuvassa 4 on esitetty pohjaveden pinnan korkeustaso eri koalueiden havaintoputkissa heinä-marraskuussa 1994. Pinnan korkeus vaihteli jonkin verran vierekkäisissä putkissa, mutta muutamia poikkeuksia lukuunottamatta vaihtelu oli pientä johtuen koalueen tasaisuudesta. Suuret erot johtuvat todennäköisesti mm. kasteluveden epätasaisesta jakautumisesta ja itse havaintoputkien ominaisuuksista kuten edellä jo mainittiin. Normaali-*ojituksen* alueella suurimmat erot (10-20 cm) putkien 1 ja 2 välillä olivat syksyllä 1994. Maanpinnan korkeusero pisteiden välillä on noin 25 cm ja putkien pituusero 40 cm. *Kaksikerrosojituksen* alueella putket 3, 7 ja 8 toimivat lähes samalla tavalla, mutta putki 4 poikkeuksellisesti heti asennuksen jälkeen ja loppuvuonna 1994. Samoina ajankohtina myös putkien 3, 7 ja 8 väliset erot olivat suurimmillaan. Putkien pituus vaihtelee 144-183 cm ja maanpinnan korkeusero on alle 25 cm. *Vertailualueella* vedenpinta putkissa 5 ja 6 oli hyvin yhteneväinen elokuuta ja marras-joulukuuta 1994 lukuun ottamatta. Suuri ero kesällä 1994 saattaa johtua kasteluviedestä. Toisaalta putken 5 toiminnassa huomattiin myöhemmin häiriöitä ja sitä korjattiin kesällä 1995. Havaintopisteet ovat samalla korkeustasolla ja putket ovat 190 cm pitkiä.



Kuva 4. Pohjaveden syvyys eri havaintoputkissa kullakin osa-alueella.
(a) Normaalioloitus (b) kaksikerrosojitus ja (c) vertailualue.

Johtopäätökset

Valumavesien varastointia ja kierrätystä padotuskastelua käyttäen tutkittiin 8hehtaarin peltoalueella Tyrnävällä. Kastelu tehtiin sekä normaalia salaojitusta että kaksikerrosojitusta käyttäen. Vuosien 1994-1995 mittauksen perusteella padotuskastelu toimi hyvin molemmissa ojituksissa eikä systemaattista eroa niiden välillä voitu havaita. Lisävettä johdettiin altaaseen viereisestä ojasta, minkä vuoksi kierrätys ei ollut täydellinen. Menetelmän toimivuutta arvioitaessa on otettava huomioon, että peltoalue kärsii kuivuudesta lähes joka kesä. Varsinkin heinä-elokuu 1994 oli poikkeuksellisen vähäsateinen, joten erot pohjaveden pinnan korkeudessa tulivat selvästi esille.

Pohjaveden laadun vaihtelu yksittäisillä osa-alueilla oli suurta eikä systemaattisia eroja niiden välillä voitu havaita. Kasteluvesi vaikuttaa ojitettujen alueiden pitoisuuksiin ja joen vesi puolestaan varastoaltaan pitoisuuksiin, minkä vuoksi pitoisuuksien luonnollisesta muutoksesta ei saatu käsitystä Tyrnävän koalueella. Sjökullan varastoaltaaseen ei pumpattu lisävettä ja sen typpipitoisuudet alenivat huomattavasti kesän ja alkusyksyn aikana. Vastaavanlaisia tuloksia ovat todenneet myös Melvin ja Kanwar (1995). Kasteluveden ravinnepitoisuudet sekä Tyrnävällä että Sjökullassa olivat niin alhaiset, ettei niillä ollut välitöntä merkitystä kasvuston kannalta. Vesistökuormitusta arvioitaessa tarvitaan yksityiskohtaisempia mittauksia valunnan määrästä eri ojitusysteemeissä. Padotuskastelun säätö varsinkin kasvukauden lopussa on tärkeää niin, että maaperään syntyy varastotilavuutta syyssvaluntaa varten.

Kirjallisuus

- Ahonen, J.** 1991. Pohjavesikastelun ja säätöojituksen käyttö ja soveltuvuus Suomessa. Diplomityö, TKK, maanmittaus- ja rakennustekniikanosasto, vesitalous. 63 s.
- Karvonen, T.** 1992. Ravinteiden kierrätys kahteen kerrokseen sijoitettuja salaojaputkistoja käyttäen. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 16: Säätöojitus - koekenttien perustaminen. 48-58.
- Kleemola, J. & Teittinen, M.** 1996. Satotuloksia säätöojituksen ja padotuskastelun koekentiltä 1994-1995. Artikkelitässä tiedotteessa.
- Koivusalo, H. & Hyvönen, P.** 1994. Säätösaloitus- ja padotuskastelututkimusten koekenttien mittausjärjestelyt ja tiedonkeruu- ja siirto-ohjelmisto. Vesitalouden laboratorion monistesarja 1994:6. Teknillinen korkeakoulu.
- Mattila, T., Paasonen-Kivekäs, M. & Teittinen, M.** 1996. Säätöojituksen ja padotuskastelun taloudellinen kannattavuus. Artikkelitässä tiedotteessa.
- Melvin & Kanwar** 1995. Environmental and Economic Impacts of a Recycling Subirrigation-Drainage System. Teoksessa: Belcher, H.W. & D'Itri, F.M.: Subirrigation and controlled drainage. Proceeding of the International Conference on Subirrigation and Controlled Drainage, Michingan, August 12-14, 1991, pp. 315-326. Lewis Publishers.

Paasonen-Kivekäs, M., Kylmälä, P., Sepahi, N. & Taskinen, A. 1994. Pohjaveden laadun ja syvyyden vaihtelu peltoalueilla. Salaoituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 18: Säätsalaoitus, tutkimustuloksia vuosilta 1992-1993. 52-82.

Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen, T., Vakkilainen, P., Sepahi, N., Kleemola, J. & Teittinen, M. 1996. Field studies on controlled drainage and recycling irrigation drainage for reduction of nutrient loading from arable land. *Water Science and Technology*, Vol 33, No 4-5, 333-339.

SÄÄTÖOJITUKSEN JA PADOTUSKASTELUN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

DI Timo Mattila ja TkL Maija Paasonen-Kivekäs
Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden ja vesirakennuksen
laboratorio

MMK Matti Teittinen ja MMK Jouko Kleemola
Helsingin yliopisto, kasvintuotantotieteen laitos

Johdanto

Säätöojituksen ja valumavesien kierrätyksen avulla voidaan estää pelloilta vesistöihin purkautuvaa valuntaa ja siten vesistökuormitusta. Menetelmät vaativat kuitenkin tuhansien markkojen investointeja hehtaaria kohti. Täten pelkän säätöojituksenkin kustannukset ovat viljelijälle raskaat. Menetelmillä pitäisikin saada sadonlisäystä niin paljon, että investointi on taloudellisesti houkutteleva. Tässä työssä on tarkasteltu eri ojitustavoilla saatavaa nettohyötyä mm. sadonlisäyksen ja markkinahinnan suhteen. Laskelmissa sadonlisäyksestä saatavia lisätuloja verrattiin ojituksen rakentamisesta ja ylläpidosta aiheutuneisiin kustannuksiin. Tarkastelu tehtiin Tyrnävällä ja Lapualla sijaitsevien koealueiden perusteella. Koekenttien ojitus sekä pohjaveden pinnan syvyys ja satotiedot vuosilta 1994-1995 on kuvattu toisaalla tässä tiedotteessa.

Aikaisemmissa tutkimuksissa pohjaveden pinnan säätelyn vaikutus satotasoon on vaihdellut vuosittain ja tulokset ovat olleet osittain ristiriitaisia. Säätöojituksen ja padotuskastelun vaikutusta satomääriin on tutkittu mm. maissin, sokerijuurikkaan, soijapavun, perunan, ja pavun osalta. Sadon lisäys on yleensä ollut 10-30 %. Toisaalta mm. Cheing et al. (1987) ja Rausch et al. (1988) eivät havainneet pysyvää satotason kasvua padotuskastelun seurauksena (ref. Belcher et al. 1995). Ahosen (1991) tutkimuksen mukaan padotuskastelulla oli selvä vaikutus sekä perunasadon määrään että laatuun. Avo-ojituksessa padotuskastelulla saatu sadonlisäys oli 10 % vertailualueeseen nähden ja perunoiden rupisuus väheni 50 %. Toisaalta Kanadassa 1983-86 tehdyn tutkimuksen mukaan ei perunan osalta pystytty osoittamaan säätötoimenpiteiden kannattavuutta, mutta heinän ja maissin sadot olivat säätöojitetuksen ja pohjavesikastelun alueella paremmat (Belcher et al. 1995).

Kustannus-hyötyanalyysin aineisto ja muuttujat

Tyrnävällä tutkittiin padotuskastelun ja Lapualla säätöojituksen vaikutusta sadon suuruuteen. Tyrnävän koealueella padotuskastelu suoritettiin kahdella

eri ojitustavalla. Kaksikerrosojituksessa kuivatusta ja kastelua varten oli omat putkistonsa 2,47 hehtaarin alueella. Toisella koalueella (5,53 ha) kuivatus ja kastelu tapahtui 1,10 cm syvyydessä sijaitsevan salaojaputkiston avulla. Näiden kahden alueen sadon määrää verrattiin alueeseen, jolla ei ollut ojitusta eikä kastelua (vertailualue). Tutkimusalueella viljeltiin vuonna 1994 kauraa ja 1995 perunaa.

Lapualla mittaukset tehtiin kahdella vierekkäisellä peltolohkolla, joista toisessa käytettiin säätöojitusta (2,55 ha) ja toinen toimi vertailualueena (0,59 ha). Ojitusta tihennettiin säätöä varten ja kokoojan päähän asennettiin säätökaivo. Myös vertailualueen ojitusta tihennettiin vuonna 1993. Viljelykasvina oli tärkkelysperuna.

Säätöojituksen ja padotuskastelun taloudellista kannattavuutta selvitettiin laskemalla niistä saatava nettohyöty. Ojitus-toimenpiteillä saatu sadonlisäys laskettiin vähentämällä koalueiden satomäärästä vertailualueen satomäärä. Vuotuiset kustannukset ja tuotot diskontattiin ojituksen rakennusvuoteen. Säätöojituksen ja padotuskastelun nettohyöty laskettiin seuraavalla tavalla:

Toimenpiteiden nettohyöty = Sadon lisäyksestä saatu hyöty - ojituksen kustannukset

*Sadon lisäyksestä saatu hyöty = Sadon lisäys * sadon yksikköhinta*

Ojituksen kustannukset = Rakentamiskustannukset + Kunnossapitokustannukset + Pumppujen sähkökustannukset

Padotuskastelu (Tyrnävän koalue)

Hankkeen perustamiskustannukset käsittivät ojituksen, varstoaltaan ja pumppaamon rakennuskustannukset. Vuotuisia kustannuksia aiheutui pumppaamon sähkönkulutuksesta sekä pumppujen ja ojastojen kunnossapidosta. Kustannuslaskennan lähtötietoina olivat koalueen viljelijältä ja Salaojakeskus Oy:ltä saadut ojituskustannusten erittelyt. Pumppaamon ja varstoaltaan rakennuskustannukset jaettiin erityyppisille ojastoille (kaksoisputkisto ja normaali-putkisto) niiden pinta-alojen suhteessa. Erittely on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Padotuskastelun investointikustannukset Tyrnävän koalueella

	Kaksoisputkisto	Normaali-putkisto	Yhteiset kustannukset
Alueen koko (ha)	2,47	5,53	
Ojituskustannukset	35 100,-	55 770,-	
Pumppaamo	13 137,-	29 412,-	42 549,-
Pumppaamoallas	3 560,-	7 970,-	11 530,-
Kokonaiskustannukset	51 797,-	93 153,-	
Kokonaiskustannukset (mk/ha)	20 970,-	16 845,-	

Sähkökustannusten suuruudeksi arviointiin 2187 mk/v arvioitiin vuosien 1994 ja 1995 kulutuksen mukaan. Pumppujen kunnossapitokustannuksiksi viljelijä arvioi $2 * 250 \text{ mk} = 500 \text{ mk}$ vuodessa. Säättökaivon ylläpitoon arvioitiin tarvittavan 0.5 tunnin työpanos/viikko 24 viikon ajan vuodessa eli $(0,5 \text{ h/vko} * 24 \text{ vko} * 8 \text{ kaivoa} * 40 \text{ mk/h}) / 8 \text{ ha} = 480 \text{ mk/ha}$ (Peltomaa 1996a). Syksyllä 1995 havaittiin, että kasteluputkistoon oli muodostunut kasvustoa. Tämän vuoksi kustannuksiin otettiin myös putkiston huuhtelu kolmen vuoden välein. Tästä aiheutuneiden kustannusten määräksi arvioitiin 0.8 mk putkimetriä kohden (Karioja 1995). Kustannukset ovat $(3\,945 \text{ m} * 0.8 \text{ mk}) / 3 = 1052 \text{ mk/v}$. Hehtaaria kohden vuotuiset kustannukset ovat 426 mk.

Laskelmissa käytetyt satomäärät perustuivat satunnaisnäytteisiin. Taulukossa 2 on esitetty näytteistä laskettu kauran ja perunan keskimääräinen sato eri osaluueilla. Ojituksen tuotot saatiin kertomalla sadon lisäys viljelykasvin hinnalla. Kauran hinnaksi oletettiin vuoden 1995 ensimmäisten viikkojen keskimääräinen markkinahinta Suomessa (0,70 mk/kg). Analyysissä ruokaperunan osuudeksi arvioitiin 75 % ja teollisuusperunan (halkaisija < 32 mm) osuudeksi 25 % sadosta. Ruokaperunan hintana käytettiin 0.50 mk/kg ja teollisuusperunan 0.20 mk/kg.

Lähtöoletuksena kustannusten ja tuottojen vertailussa oli, että ojituskustannukset hehtaaria kohden pysyvät vakiona. Kaikki tuotot ja kustannukset laskettiin hehtaaria kohden ja diskontattiin vuoteen 1993. Investointiajan lähtöarvona käytettiin 10 vuotta ja korkokantana 6 %. Tällöin saatiin tulokseksi koko investointiajanjakson nettohyöty.

Taulukko 2 Keskimääräinen sato Tyrnävän koealueella (Kleemola & Teittinen 1996).

	Vuosi	Kaksoisputkisto kg/ha	Normaaliputkisto kg/ha	Vertailualue kg/ha
Kaura	1994	7300	6100	4300
Peruna	1995	44138	42370	23517

Säättöojitus (Lapuan koealue)

Säättöojituksen kustannukset Lapualla perustuivat viljelijältä saatuihin tietoihin. Tässä tarkastelussa kustannuksiin on lisätty vielä yksi säättökaivo. On oletettavaa, että koko peltolohkon säättö vaatisi ainakin kaksi kaivoa. Investointikustannukset koostuivat säättöojitusalueen ojituskustannuksista, jotka on eritelty taulukossa 3. Oman työn määrä arvioitiin (hehtaaria kohden) samansuuruiseksi kuin Tyrnävän alueella. Säättökaivojen ylläpidon vuotuisiksi kustannuksiksi saatiin näin 376 mk/ha.

Myös Lapuan koealuiden satomäärät perustuivat satunnaisnäytteisiin vuodelta 1995. Säättöjitetulla alueella perunasadon määrä oli 47 705 kg/ha ja vertailualueella 42 795 kg/ha (Kleemola & Teittinen 1996). Tärkkelysperunnan hintana käytettiin 0,24 mk/kg, joka melko tarkasti vastaa vuoden 1995 sopimushintaa. Kannattavuuslaskelmat tehtiin samoin kuin Tyrnävän aineistolla. Kaikki kustannukset ja tuotot diskontattiin rakennusvuoteen 1993.

Taulukko 3 Säättöjituksen investointikustannukset Lapualla

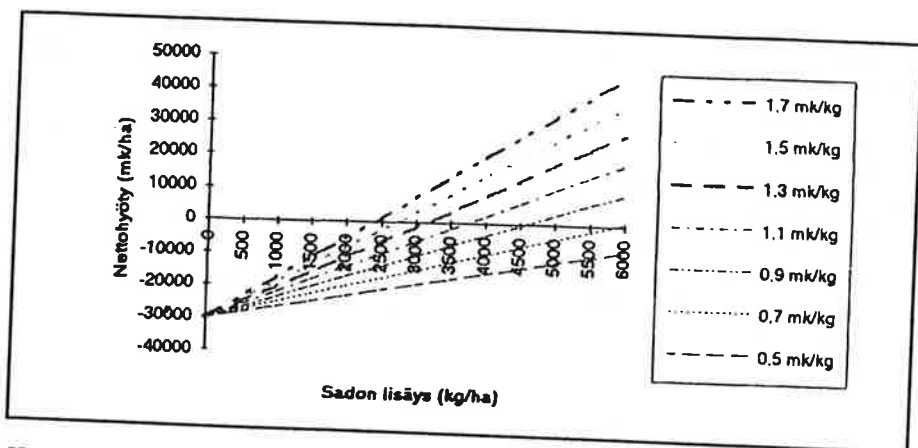
Alueen koko (ha)	2,55
Ojituskustannukset	9 454,-
Kaivot (2 kpl)	4 000,-
Oma työ	1 275,-
Kokonaiskustannukset	14 729,-
Kokonaiskustannukset (mk/ha)	5 776,-

Hankkeiden taloudellinen kannattavuus

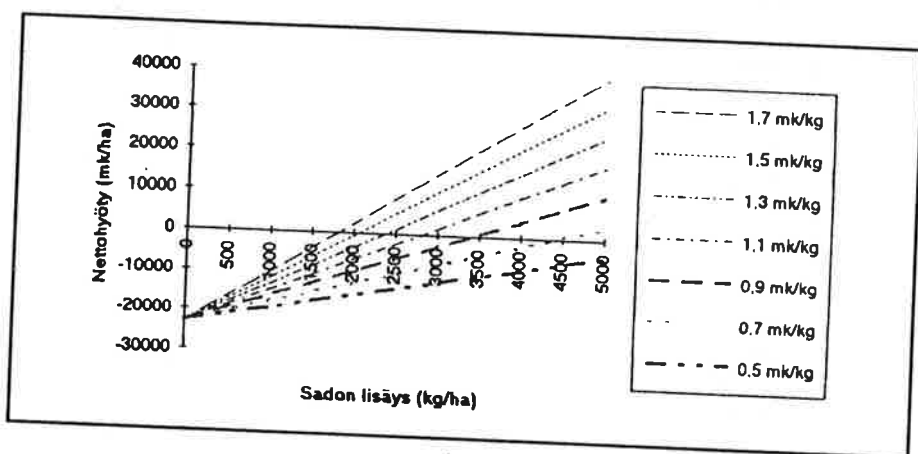
Padotuskastelu

Kaurasadon määrä Tyrnävällä oli kaksoisputkiston alueella 70 % ja normaaliputkiston alueella 42 % vertailualueesta suurempi. Eriojitusmenetelmien välillä satoero oli noin 20 % kaksoisputkituksen eduksi. Saatu sadonlisäys ei kuitenkaan riitä kattamaan investointikustannuksia kummallakaan alueella edellä esitetyillä lähtötiedoilla. Satunnaisnäytteiden perusteella määritetyt satotasot ovat luultavasti liian korkeita. Viljelijän arvion mukaan vertailualueen keskimääräinen sato oli noin 1500 kg/ha (tutkimuksen lähtöarvo: 4300 kg/ha) ja kastelluilla alueilla 3000 kg/ha (lähtöarvot: kaksoisputkisto 7300 kg/ha, normaaliputkisto 6100 kg/ha). Eri padotuskastelualueilta saatujen satojen kesken ei viljelijän mielestä ollut juurikaan eroa. Viljelijän arvio vastaa kauran keskisatoa vuonna 1994 Oulun seudulla (3080 kg/ha, Maataloustilastollinen kuukausikatsaus).

Sadon määrästä johtuva virhelähde eliminoiduu, kun asetetaan sadonlisäys muuttujaksi ja esitetään saatu nettohyöty kauran eri hintatasoilla (kuva 1). Koska molempien ojitusten osalta vaadittu sadonlisäys hintatasolla 0,70 mk/kg on käytännössä mahdoton, jää ratkaisevaksi muuttujaksi hinta. Jos kauran hinta olisi samalla tasolla kuin ennen EU:hun liittymistä eli noin 1.50 mk/ha, pitäisi sadon lisäyksen olla kaksoisputkiston alueella yli 2500 kg/ha ja normaaliputkiston alueella 2000 kg/ha, joka on selvästi alhaisempi kuin viljelijän arvio.



Kuva 1a. Kaurasadon lisäyksen ja kauran hinnan vaikutus nettohyötyyn padotuskastelussa kaksikerrosojitusta käyttäen. Investointiaika on 10 vuotta ja korkokanta 6 %.

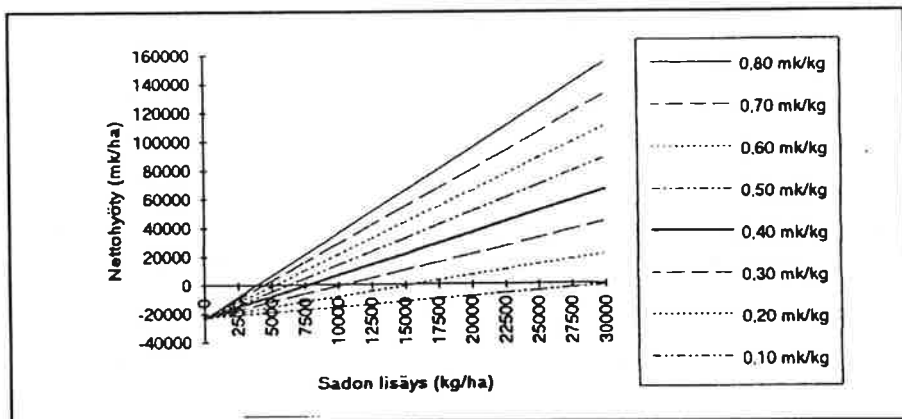
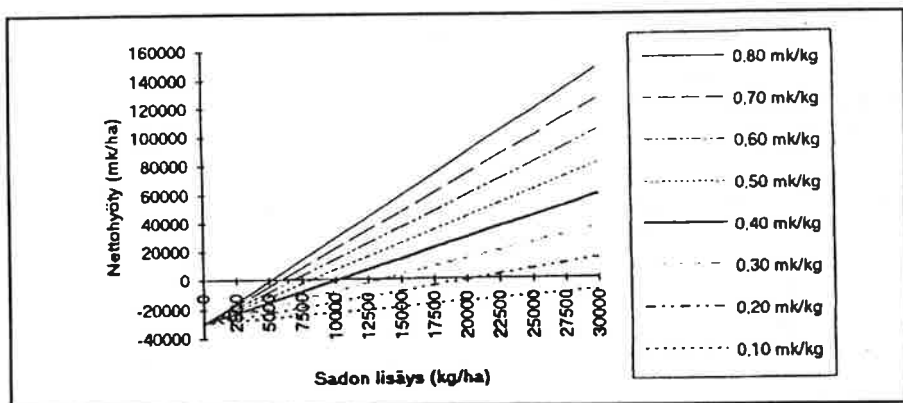


Kuva 1b. Kaurasadon lisäyksen ja kauran hinnan vaikutus nettohyötyyn padotuskastelussa normaaliojitusta käyttäen. Investointiaika on 10 vuotta ja korkokanta 6 %.

Suuren hehtaarisadon johdosta ojitusinvestoinnin kannattavuus ei vaadi perunan osalta yhtä suurta sadon lisäystä kuin kauralla. Perunan sato vertailualueella (ilman ojitusta) oli 23 517 kg/ha, joka on suhteellisen pieni keskimääräiseen satoon verrattuna. Perunasadon määrä oli kaksoisputkiston alueella 88 % ja normaaliputkiston alueella 80 % vertailualueetta suurempi. Investointiajan ollessa 10 vuotta, diskonttokoron 6 % ja perunan hinnan pysyessä vakiona (ruokaperuna 0.50 mk/kg, teollisuusperuna 0.20 mk/kg), on

koko investointiajan nettohyöty näillä satomäärillä kaksoisputkiston alueella 34 396 mk/ha ja normaaliputkiston alueella 36 126 mk/ha. Investointi on siis selvästi kannattava.

Samoin kuin kauran satotiedot, myös perunan satotasot poikkesivat maanviljelijän arviosta, tosin eivät yhtä paljon. Viljelijän arvion mukaan yli 32 mm halkaisijaltaan olevan perunan sato vertailualueella oli keskimäärin noin 10000 kg/ha ja kasteluilla alueilla 29000 kg/ha. Jos oletetaan, että tällaista perunaa on 75 % koko satomäärästä, niin vertailualueella sato on 13300 kg/ha (tutkimuksen lähtöarvo : 23517 kg/ha) ja kasteluilla alueilla 38700 kg/ha (lähtöarvot: kaksoisputkitus 44138 kg/ha, normaaliputkitus 42370 kg/ha). Tässäkään tapuksessa eri ojitusalueilta saatujen satojen välillä ei viljelijän mielestä ollut juurikaan eroa. Kuvassa 3 on esitetty molemmilta kasteluilta alueilta saatu nettohyöty perunan hinnan ja sadon lisäyksen funktiona.



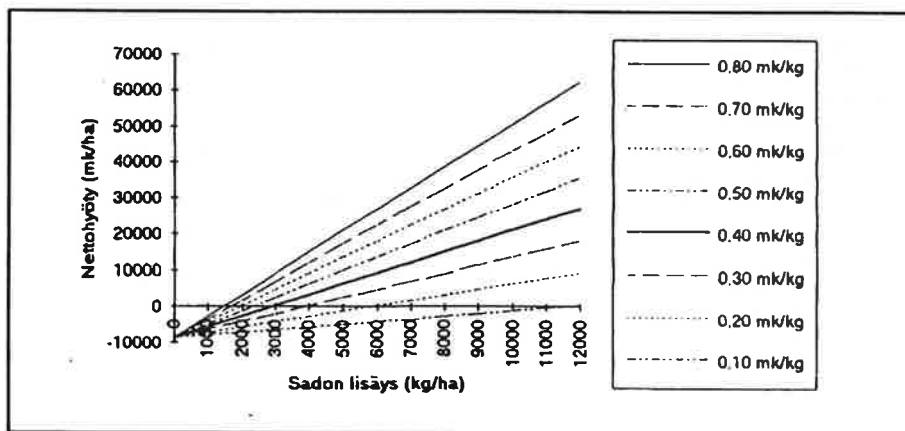
Kuva 3 Perunasadon lisäyksen ja perunan hinnan vaikutus nettohyötyyn padotuskastelussa (a) kaksikerrosjitusta ja (b) normaaliojitusta käyttäen. Investointiaika on 10 vuotta ja korkokanta 6 %.

Molemmilla alueilla nettohyöty on positiivinen 10 vuoden investointiajalla, jos sadonlisäys on viljelijän arvioima noin 25 000 kg/ha, silloin kun perunasta saatava hinta on yli 0,20 mk/kg. Jos 75 % sadosta myydään ruokaperunaksi hintaan 0,50 mk/kg ja loput teollisuusperunaksi hintaan 0,20 mk/kg muodostuu perunan keskihinnaksi 0,43 mk/kg. Tällä perunan hinnalla vaaditaan normaaliputkiston alueella sadon lisäystä yli 7 000 kg/ha ja kaksoisputkiston alueella yli 9 500 kg/ha, jotta hanke tuottaa nettohyötyä. Sekä viljelijän arvio, että mitattu sadonlisäys ovat moninkertaiset näihin arvoihin verrattuna.

Säätöjitus

Pelkän säätöjituksen kannattavuus perunanviljelyssä ei ole niin selvä kuin padotuskastelun, koska sadonlisäys jää suhteellisen pieneksi. Perunan sato Lapuan vertailualueella (ilman säätöjitusta) oli 42 795 kg/ha. Perunasadon määrä oli säätöjitetulla alueella noin 11 % vertailualueutta suurempi. Investointiajan ollessa 10 vuotta, diskonttokoron 6 % ja perunan hinnan pysyessä vakiona (teollisuusperuna 0,24 mk/kg), on koko investointiajan nettohyöty näillä satomäärillä säätöjitetulla alueella vain 130 mk/ha.

Lapuan satotulokset olivat huomattavan korkeita verrattuna viljelijän arvioihin samoin kuin Tyrnävällä. Viljelijän mukaan keskimääräinen sato vuonna 1995 oli 26000 kg/ha laskettuna koalueiden kokonaissadosta. Tämä on vain 61 % laskelmissa käytetystä vertailualueen sadosta. Vuosina 1994-1989 sadon määrä on vaihdellut 27-30 tn/ha. Koska satotiedoissa on näin suuri ero, nettohyötyä tarkasteltiin sadon lisäyksen ja hinnan funktiona (kuva 4). Säätöjitus on kannattavaa silloin, jos sadonlisäys hintatasolla 0,24 mk/kg on yli 5000 kg/ha normaaliojituksen verrattuna. Tämä merkitsee keskimääräiseen satoon verrattuna noin 17-19 % lisäystä, joka on huomattavasti korkeampi kuin mittauksissa saatu ero.



Kuva 4. Perunasadon lisäyksen ja perunan hinnan vaikutus nettohyötyyn säätöjituksessa. Investointiaika on 10 vuotta ja korkokanta 6 %.

Johtopäätökset

Työssä selvitettiin säättöjituksen ja padotuskastelun (kaksikerrosojitus ja normaalojitus) taloudellista kannattavuutta. Lähtötietoina olivat Tyrnävällä ja Lapualla sijaitsevien koe-alueiden ojituskustannukset ja satomittaukset. Säättöjituksen ja padotuskastelun taloudellisuuteen vaikuttaa ennen kaikkea viljelykasvi ja luonnollisesti sen markkinahinta sekä käytetty investointiaika. Korkokanta laskelmissa oli 6 %. Vaikka padotuskastelualueella vuonna 1994 saatiin jopa 100% korkeampi kurasato kuin vertailualueella, eivät kummatkaan ojitustyyppit olleet nykyhinnoilla kannattavia pitkälläkään investointiajalla. Sen sijaan ruokaperunaa samalla alueella viljeltäessä saadaan investoinnit melko nopeasti kuoletettua pienelläkin sadonlisäyksellä. Tämä johtuu perunan suuresta hehtaarisadosta sekä Tyrnävän koelueen luonteesta. Säättöjituksen kannattavuus perunanviljelyssä oli huomattavasti heikompi kuin padotuskastelun.

Analyysi on suuntaa antava eikä tuloksia voida yleistää ottamatta huomioon käytettyjä lähtötietoja. Suurimmat epävarmuudet sisältyvät satotietoihin, joita oli kahdelta koealueelta vain vuosilta 1994-1995. Lisäksi satunnaisnäytteiden perusteella lasketut satotasot olivat huomattavasti korkeammat kuin viljelijöiden antamat arviot. Myös eri käsittelymenetelmien väliset erot vaativat tarkempia mittauksia, koska vaihtelu näytteiden välillä oli suurta kaikilla koealueilla (Kleemola & Teittinen 1996). Aikaisempien tutkimusten mukaan pohjaveden pinnan säädön vaikutus satotasoon vaihtelee hyvin paljon kuten johdannossa mainittiin. Tätä epävarmuutta pyrittiin poistamaan ottamalla sadonlisäys muuttujaksi.

Epävarmuutta laskelmissa aiheuttavat myös vuotuiset käyttö- ja kunnossapitokustannukset. Nämä kustannukset laskettiin viljelijöiden ja asiantuntijoiden arvioiden perusteella. Esimerkiksi Tyrnävän kaksikerrosojituksen kunnossapitokustannuksiin laskettiin kasteluputkiston huuhtelukustannukset joka kolmas vuosi. Kasvuston kertyminen putkistoon saattaa kuitenkin esiintyä vain uusissa ojituksissa ja kadota ajan kuluessa. Samoin säättökaivojen ylläpitokustannuksilla oli melkoinen merkitys varsinkin Lapuan säättöjitusalueen kannattavuuteen. Viljelijän oman työmäärän arvioiminen eri ojitussysteemeissä vaatiikin tarkennusta.

Padotuskastelussa ympäristönsuojelulliset näkökohdat vaativat usein kuivatusvesien varastoaltaan rakentamista. Sen kunnossapito, esim. vesikasvillisuuden ja lietteen poisto, lisää kustannuksia. Jos kasteluvettä on saatavissa ilman varastoallasta ja vesiensuojelu ei vaadi altaan rakentamista, niin padotuskastelun kannattavuus paranee tässä esitetystä. Oleellinen tekijä säättöjituksen kannattavuudessa on sopiva ojitus ja riittävä säättökaivojen lukumäärä niin, että padotuksen vaikutus ulottuu mahdollisimman tasaisesti koko peltoalueelle.

Kirjallisuusviitteet

- Ahonen, J.** 1991: Säättöjituksen ja pohjavesikastelun käyttö ja soveltuvuus Suomessa. Diplomityö. Vesitalouden laboratorio. Teknillinen Korkeakoulu, Otaniemi 1991.
- Belcher, H.W. & D'Itri, F.M.** (toim.) 1995 : Subirrigation and Cotrolled Drainage. Lewis Publishers.
- Karioja, V.** Suullinen tiedonanto 1995.
- Kleemola, J. & Teittinen, M.** 1996. Satotuloksia säättöjituksen ja padotuskastelun koekentiltä 1994-1995. Artikkelitässä tiedotteessa.
- Mattila, T.** 1996. Säättöjituksen ja padotuskastelun taloudellinen kannattavuus. Erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio.
- Peltomaa, R.** : Suullinen tiedonanto, 1996a.

VALUNTA JA RAVINNEHUUHTOUMAT SAVIMAASSA

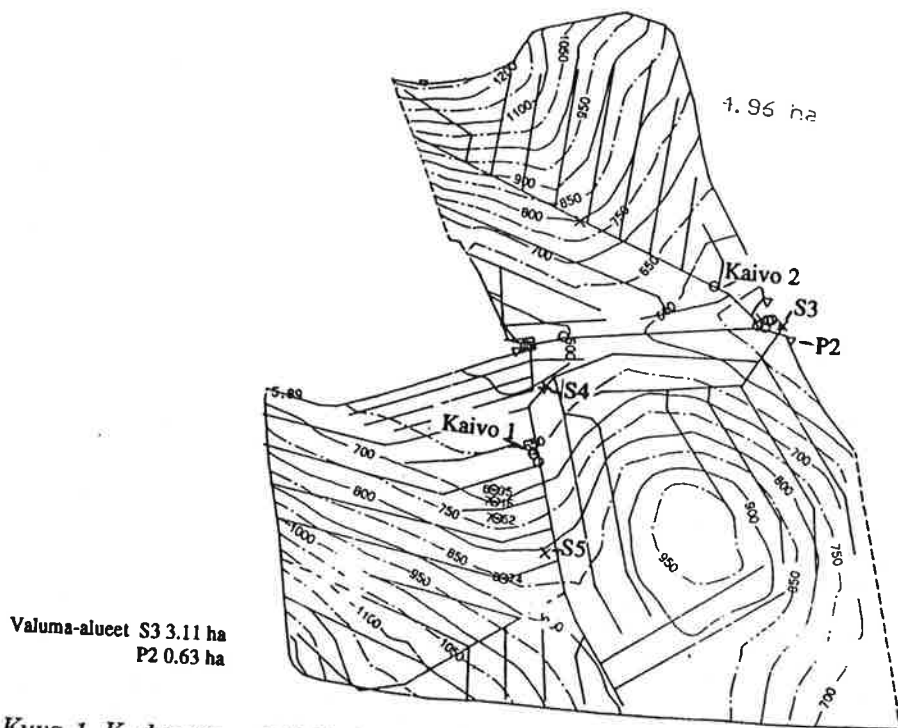
DI Johanna Kankaanranta
Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden ja
vesirakennuksen laboratorio

Johdanto

Kirkkonummen Sjökuullassa on mitattu salaoja- ja pintavaluntaa sekä niiden ravinnepitoisuuksia vuodesta 1992 alkaen. Mittausten tavoitteena on selvittää valunnan sekä ravinnehuuhtoumien vuodenaikaista vaihtelua sekä säätösalaajituksen ja ravinteiden kierrätyksen soveltuvuutta savipellolle. Lisäksi on tutkittu salaojavalunnan lyhytaikaista laadun vaihtelua eri vuodenaikoina. Tässä artikkelissa on tarkasteltu valuntaa ja ravinne huuhtoumia kesäkuusta 1994 toukokuulle 1995. Lyhytaikaisia valuntatapahtumia on esitetty syksystä 1994. Lyhytaikaisen aineiston perusteella selvitettiin eri ravinteiden virtaamasta riippuvaa huuhtoutumisherkkyttä ja optimaalista näyttenottoväliä. Mittausaineistoa on käytetty hyväksi mallinnettaessa veden virtausta halkeilevassa maassa ja halkeamien muodostumista (Kankaanranta 1996).

Koealue ja mittaukset

Koealueiden maalaji on pääasiassa hieta- ja hiesusavea. Maalaji on erittäin huonosti vettä johtavaa ja kuivana aikana voimakkaasti halkeilevaa. Pintakerroksessa on 3-7 % humusta. Pellot on salaajitettu pääosin vuonna 1938 tiiliputkin. Muutama ojustoihin on tehty täydennys- ja muutositusta 1980-luvulla. Tässä tutkimuksessa keskitytään yhteen peltolohkoon. Peltola oli normaali viljelyksessä ja siellä viljeltiin ohraa tutkimuskesänä 1994. Aikaisempina kesinä siellä viljeltiin kevätvehnää, ohraa ja rypsiä. Valuntoja tutkittiin salaajapadolla (S3), jonka valuma-alue on 3.36 ha ja pintavaluntapadolla (P2), jonka valuma-alue on 0.63 ha. Peltolohko on jyrkkä rinnepelto, jossa kaltevuus padon S3 valuma-alueella on 3.5% ja padon P2 valuma-alueella noin 5%. Kuvassa 1 on esitetty koealueen korkeussuhteet ja mittapatojen sijainti. Tutkimusalueella oli kaikkiaan neljä säätökaivoa, joiden avulla pohjavedenpinnan säätäminen toteutettiin. Vuonna 1994 pellolle kylvettiin ohraa (lajike: H. vulgare cv) 12.5.1994, jolloin lisättiin lannoitetta. Typpilannoite määrä oli 120 kg/ha. Sato korjattiin 12.8.1994. Keväällä 1995 kylvettiin samaa ohralajiketta kuin edellisenä vuotena ja lisättiin lannoitetta, joka sisälsi typpeä 110 kg/ha. Kylvöpäivä oli silloin 10.5.1995. Säätö toteutettiin tutkimusjaksolla 1994-1995 siten, että säätö oli muina aikoina päällä, mutta poistettiin keväällä muutamaksi viikoksi kylvöä varten ja syksyllä sadonkorjuuta varten.



Kuva 1. Koekentän peltolohkojen sijainti, korkeussuhteet, salaojapatojen (S), pintavaluntapatojen (P), säätökaivojen sijainnit sekä sademittarien paikat.

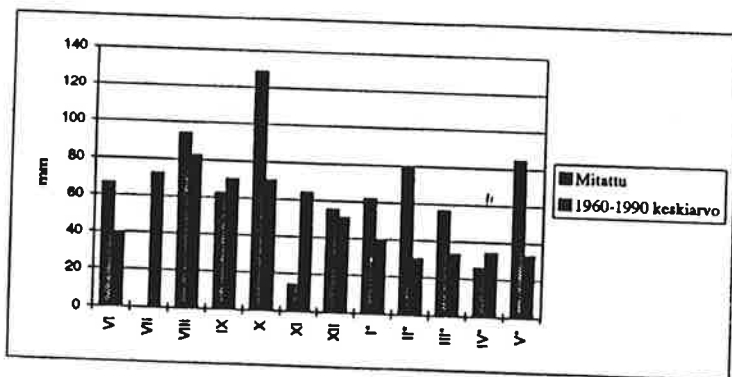
Salaojavaluntaa mitattiin pellolle asennetuissa kaivoissa, joissa oli v-aukkopato ja säätörakenteet. Pintavaluntaa mitattiin myös v-aukkopadoilla. Vedenpinnan korkeutta padoilla mitattiin automaattisen mittausjärjestelmän avulla 15 minuutin välein. Lisäksi veden pinnan korkeuksia padoilla mitattiin käsin näytteenoton yhteydessä. Salaojavalunnan lyhytaikaista vaihtelua tutkittiin keräämällä automaattisella näytteenottimella salaojapadolta S3 näytteitä yksittäisistä valunta-tapahtumista syys-lokakuussa 1994. Näytteenotin oli säädetty ottamaan näytteitä tunnin välein, silloin kun vedenpinnan korkeus padolla nousi yli 20 mm v-aukon yläpuolelle.

Salaoja- ja pintavalunnan vuodenaikainen vaihtelu

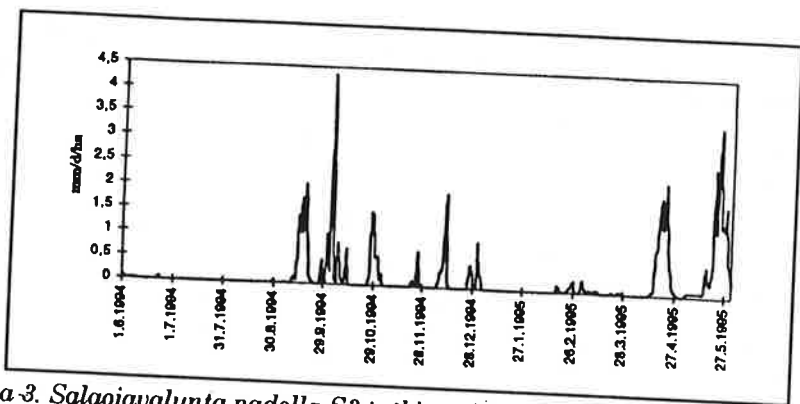
Valunnan kokonaismäärä tutkimusjaksolla oli 190 mm. Salaojavaluntaa padolla S3 oli jaksolla 1.6.1994-31.5.1995 71 mm ja pintavaluntaa padolla P2 120 mm. Kokonaissadanta vastaavalla jaksolla oli 725 mm. Keskimääräinen vuosisadanta Etelä-Suomessa on 670 mm ja keskimääräinen vuosivalunta 300

mm. Mitattu valunta on huomattavan pieni verrattuna jakson sadantaan. Tämä johtunee mittausjärjestelmän epätarkkuuksista sekä pintavalunnan ohjaamiseksi mittapadolle tehtyjen penkereiden ajoittaisista sortumista kevätulannan aikana. Lisäksi pintavalunnan mittauksessa oli katkos 7. 12. 1994-24.2. 1995. Tällöin pintavaluntaa mitattiin muutaman kerran käsin. Suurimmat valuntamäärät syntyivät tutkimusjaksolla syys-lokakuussa 1994 ja huhti-toukokuussa 1995. Salaojissa oli valuntaa kaikkina muina kuukausina heinäkuuta 1994 lukuunottamatta. Mitatut suurimmat salaojavalumat jäivät noin neljäsosaan salaojien mitoitusvalunnasta 8,64 mm (1 l/s/ha). Suurimmat hetkelliset huiput mitattiin 3. 10. 1994 noin 4.5 mm ja keväällä 25. 5. 1995 noin 3.5 mm. Pintavaluntaa esiintyi syyskuun lopulta alkaen, valuntahuipun ollessa lokakuussa 1994. Kevätkaudella suurimmat pintavalunnan määrät mitattiin huhtikuussa 1995.

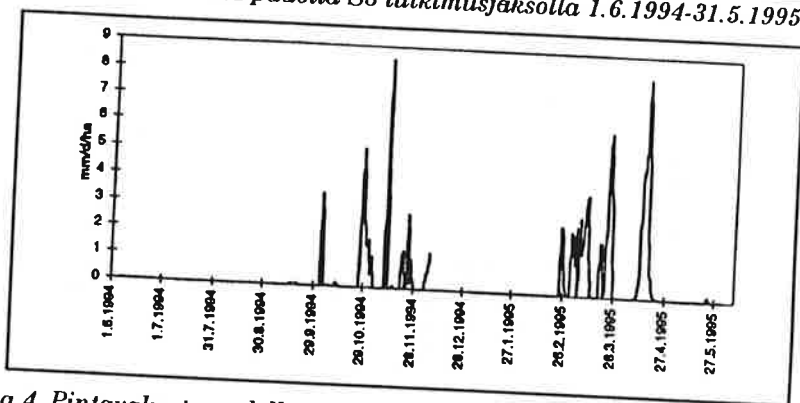
Salaojapadolla S3 oli vähäistä virtausta lähes koko touko- kesäkuun ajan vuonna 1994. Toukokuun alkupuolen virtaamat aiheutuivat lähinnä sulannasta. Kesäkuusi oli kuiva, eikä salaojavirtaamaa ollut ennen elokuun lopun sateita. Maa oli niin kuivaa, että elokuun alun noin 5-15 mm vuorokausisadanta muutaman päivän välein ei vielä aiheuttanut minkäänlaisia virtaamia salaojissa pellolla olevista halkeamista huolimatta. Sateet eivät olleet kovin rankkoja ja vesi imeytyi helposti halkeamien reunojen kautta maahan. Syyskuun alusta lähtien valuntaa syntyi melkein jokaisen sadetapahtuman yhteydessä. Lokakuun alussa pohjavesi oli noussut 20-50 cm etäisyydelle maanpinnasta ja pintavaluntaa pääsi syntymään. Tämän jälkeen pintavaluntaa syntyi jokaisen 5 mm/d suuremman sadetapahtuman yhteydessä. Marraskuun alussa ilma kylmeni selkeästi ja pellon pinta alkoi jäätyä. Ajoittain kuitenkin satoi runsaasti vettä, joka sulatti jään aiheuttaen sekä salaoja- että pintavaluntaa. Talvi oli leuto ja salaojissa oli vähäistä virtausta useana päivänä helmi-maaliskuussa. Vesisateista huolimatta osa pellon pinnasta säilyi lumipeitteisenä talvikauden ajan. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty salaoja- ja pintavalunnan ajoittuminen tutkimusjaksolla 1994-1995.



Kuva 2. Sadanta tutkimusjaksolla 1.6.1994-31.5.1995



Kuva 3. Salaojavälunta padolla S3 tutkimusjaksolla 1.6.1994-31.5.1995



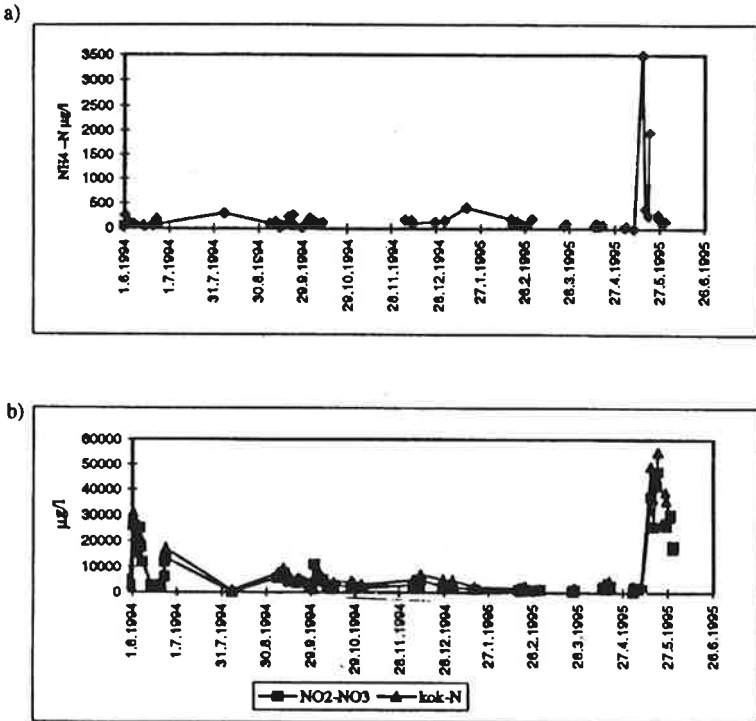
Kuva 4. Pintavalunta padolla P2 tutkimusjaksolla 1.6.1994-31.5.1995

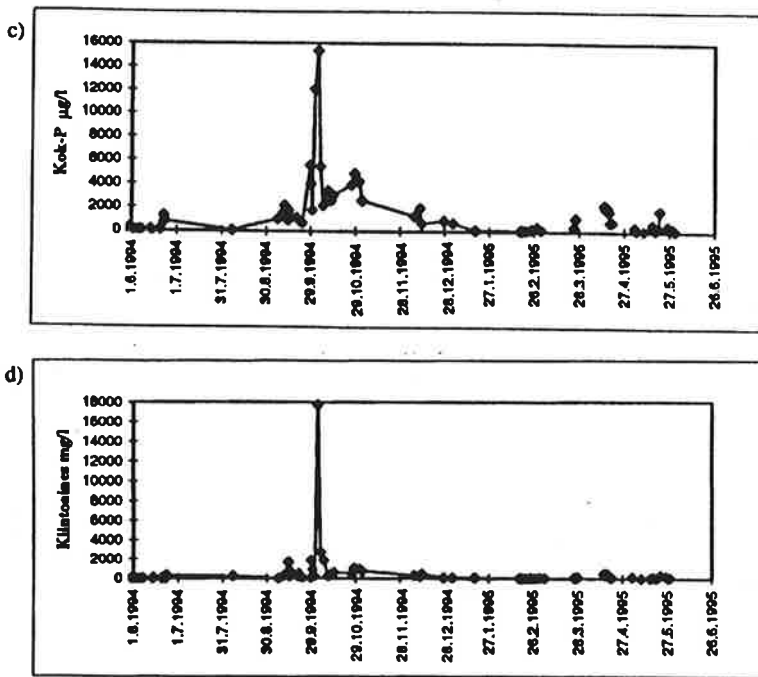
Vedenlaadun vuodenaikainen vaihtelu

Veden ravinne- ja kiintoainepitoisuudet vaihtelivat selvästi vuodenajan mukaan sekä salaojissa että pintavalunnassa. Vuodenaikaisvaihtelu salaojavesien laadussa padolla S3 on esitetty kuvassa 5. Kokonaistypen ja -fosforin pitoisuudet vaihtelivat tutkimusjaksolla keskimäärin 1 mg/l 12 mg/l välillä. Kokonaistypen (Kok-N) maksimi pitoisuus 60 mg/l mitattiin toukokuussa 1995. Seuraavaksi suurimmat pitoisuudet mitattiin kesäkuussa 1994, jolloin kokonaistypen suurimmat pitoisuudet olivat noin 30 mg/l. Kokonaisfosforin (Kok-P) maksimipitoisuus 18 mg/l mitattiin lokakuussa 1994 heti pellon kylvämisen jälkeen, jolloin kiintoaineksen määrä oli myös suurimmillaan. Molemmat kokonaistypen pitoisuushuiput johtuivat lannoitteen huuhtoutumisesta. Nitriitin ja nitraatin summan (NO₂-NO₃-N) pitoisuudet olivat lähes saman suuruisia kok-N pitoisuuksien kanssa eli suurin osa salaojiin huuhtoutuneesta tyypestä oli nitraattina. Nitriitin merkitys huuhtouman kokonaismäärässä on pieni, sillä se on välituote, joka hapettuu nopeasti nitraatiksi. Tutkimusjaksolta nitriittimäärityksiä ei ole, mutta myöhempien nitriittimittausten perusteella

sen voidaan todeta olevan lähes merkityksetön. Ammoniumtyypen (NH₄-N) pitoisuudet vaihtelivat nopeasti keskimäärin 0.05 mg/l ja 0.35 mg/l välillä ja olivat suurimmillaan vain 0.8 mg/l. Kaikilla padoilla pH-arvo kasvoi heti lannoituksen jälkeen. Kesän aikana pH laski ja lähti uudelleen nousemaan sateiden alkaessa syksyllä. Salaojavesissä pH koejakson aikana vaihteli välillä pH 6-7.5.

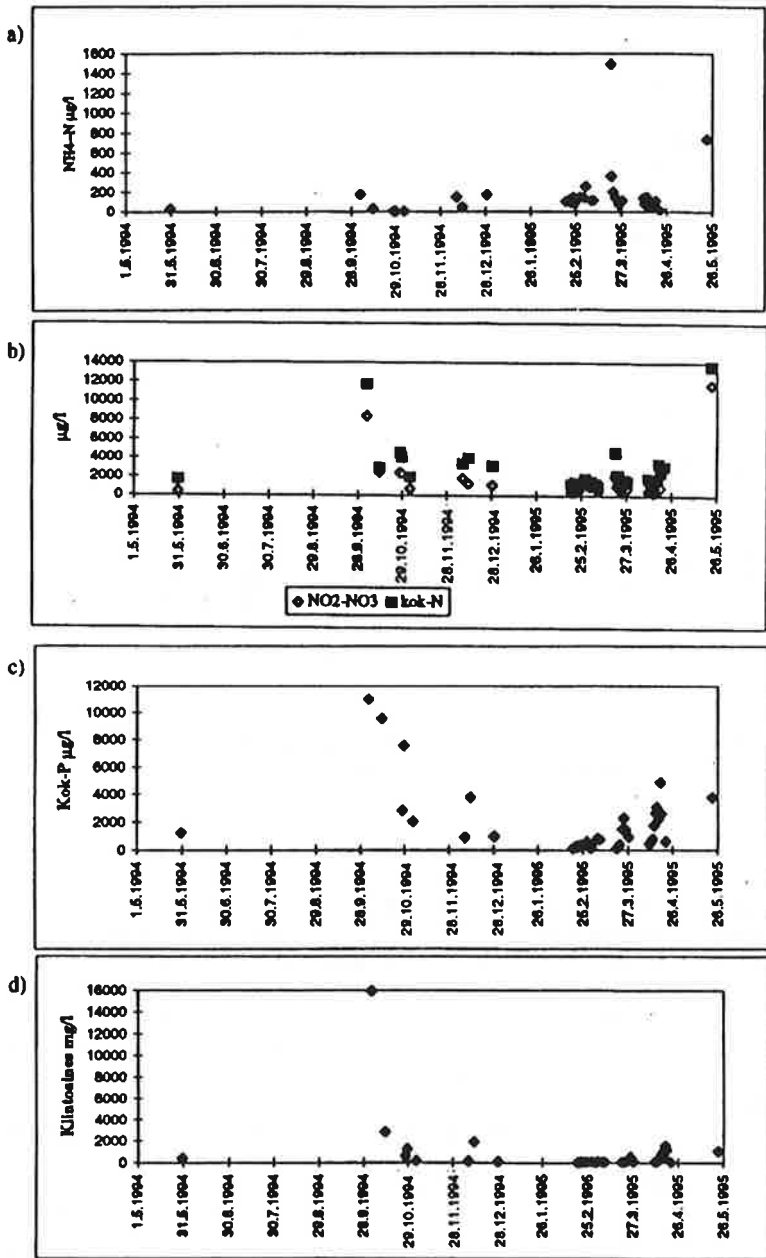
Kokonaisfosforin pitoisuudet vaihtelivat voimakkaasti kiintoainepitoisuuksien mukaan 0.5 mg/l:sta 6 mg/l:aan. Huippupitoisuus lähes 16 mg/l mitattiin syyskuun puolivälissä 1994 heti kynnön jälkeen samaan aikaan kiintoaineksen huippupitoisuuden 17000 mg/l kanssa. Kiintoainepitoisuudet vaihtelivat keskimäärin 50 mg/l ja 2000 mg/l välillä. Suurin osa fosforista kulkeutui salaojavesiin ja sitä kautta vesistöihin kiintoaineksen mukana.





Kuva 5. Salaojavesien ravinne- ja kiintoainespitoisuuksien vuodenaikaisvaihtelut tutkimusjaksolla padolla S3. a) $\text{NH}_4\text{-N}$ b) $\text{NO}_2\text{NO}_3\text{-N}$ ja kok-N c) kok-P d) Kiintoaines

Pintavaluntavesien kokonaistyyppipitoisuudet olivat selvästi pienemmät kuin salaojavesien, mutta kokonaisfosfori- ja kiintoainespitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa salaojavesien pitoisuuksien kanssa. Kuvassa 6 on esitetty pintavaluntavesien pitoisuusvaihtelut padolla P2. $\text{NH}_4\text{-N}$ pitoisuudet pintavaluntavesissä olivat likimain samansuuruisia kuin salaojavesissä, lukuunottamatta huhtikuun alussa mitattua ammoniumpiikkiä, jossa pitoisuus oli lähes viisinkertainen salaojavesien pitoisuuteen verrattuna. Myös pintavaluntavesissä suurin osa huuhtoutuvasta typestä oli nitraattimuodossa. Suurimmat typen pitoisuudet mitattiin samaan aikaan suurimpien fosforipitoisuuksien kanssa syyskuun puolessa välissä, jolloin pellon kyntäminen aloitettiin. Pellon kyntämisen ajankohta näkyy myös pintavaluntavesien kiintoainespitoisuuksissa selkeästi. pH oli likimain vakio koko tutkimusjakson ajan vaihdellen pH 6 ja pH 7 välillä lukuunottamatta sulantavesissä mitattua pH arvoa 4 huhtikuun alussa.



Kuva 6. Typpi-, fosfori- ja kiintoainespitoisuudet pintavaluntapadolla P2, toukokuu 1994-toukokuu1995. a) NH₄-N b)NO₂NO₃-N ja kok-N c) kok-P d) Kiintoaines

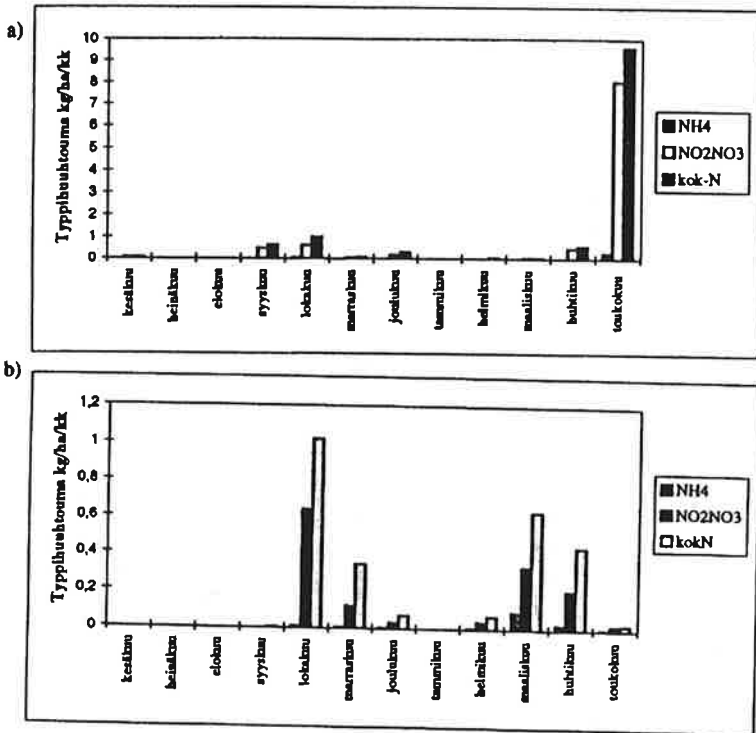
Huhtoumat

Virtaama- ja pitoisuusmittausten perusteella laskettiin ravinne- ja kiintoainehuhtouma salaojista ja pintavaluntapadoilta 1.6.1994-31.5.1995 väliselle ajalle. Laskennassa käytettiin kevään osalta vuoden 1995 havaintoja, koska salaojapadot olivat kevään 1994 aikana avopatoja, joissa virtaamaa ei voitu mitatatalvella eikä keväällä yöpakkasten aikaan. Kokonaiskuormitus on laskettu olettamalla pitoisuuden säilyvän vakiona pitoisuusmittausten välillä. Vuorokauden aikana hehtaarilta tullut vesimäärä on kerrottu pitoisuudella ja saatu-vuorokaudessa hehtaarilta tullut kuorma.

Taulukko 1. Valunta ja ravinnehuhtoumat salaojapadolta S3 ja pintavaluntapadolta P2 kuukausittain, kesäkuu 1994-toukokuu 1995.

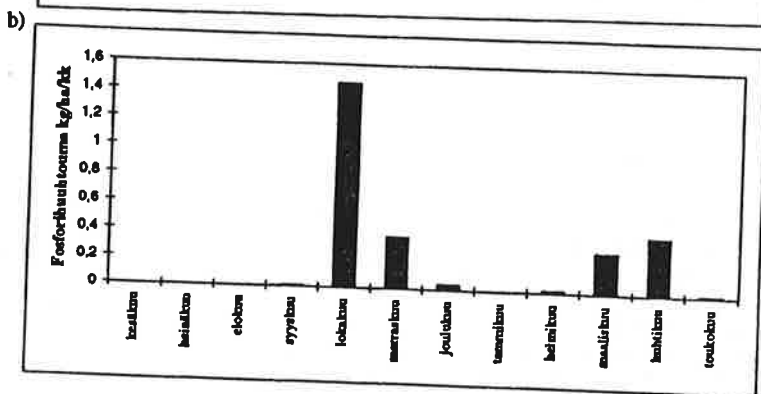
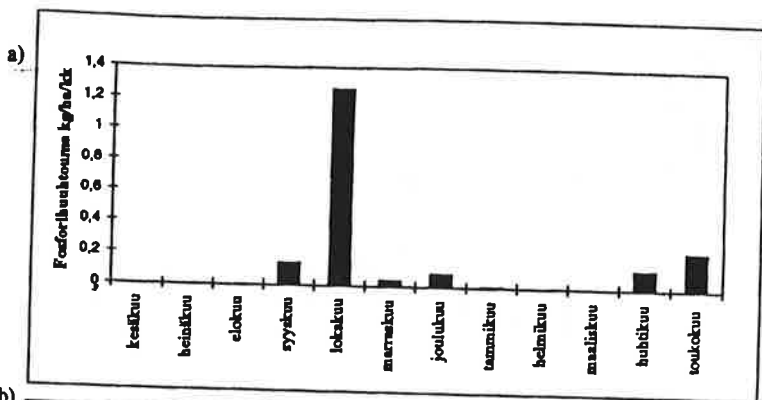
	Kumulatiivinen valunta [mm]		kok-N kg/ha		kok-P kg/ha		kiintoaines kg/ha	
	S3	P2	S3	P2	S3	P2	S3	P2
kesäkuu -94	0.9	0	0.051	0	0.001	0	0.285	0
heinäkuu -94	0.9	0	0	0	0	0	0.000	0
elokuu -94	1.0	0	0.0002	0	0	0	0.005	0
syyskuu -94	12.1	0.16	0.631	0.003	0.137	0.002	35.64	0.600
lokakuu -94	26.8	18.6	0.995	1.020	1.260	1.464	444.0	756.5
marraskuu-94	28.2	35.7	0.041	0.341	0.035	0.374	7.96	35.8
joulukuu -94	34.6	38.2	0.302	0.068	0.081	0.037	12.77	3.58
tammikuu -95	34.8	38.2	0.007	0	0.004	0	0.710	0
helmikuu -95	35.6	43.4	0.012	0.067	0.001	0.016	0.148	2.69
maaliskuu -95	36.8	88.8	0.016	0.633	0.001	0.299	0.254	31.9
huhtikuu -95	49.9	119.4	0.592	0.440	0.116	0.417	16.56	97.86
toukokuu -95	71.4	119.6	9.618	0.027	0.235	0.008	44.26	2.05
Yhteensä			12.27	2.60	1.87	2.61	562.7	931.0
Kokonais-kuorma			14.9		4.5		1493.7	

Tyypin kokonaishuhtouma jaksolla 1.6.1994-31.5.1995 oli 14.9 kg/ha, josta salaojahuhtouma oli 12.3 kg/ha ja loput pintavalunnan aiheuttamaa kuormitusta. Laskentajakson aikana salaojien tyyppikuormitus painottui suurimmaksi osaksi toukokuulle 1995, jolloin syntyi 80 % salaojahuhtoumasta. Muu osa kuormituksesta syntyi syys-lokakuussa 1994 ja huhtikuussa 1995, mutta kokonaiskuormituksen kannalta niillä ei ole juurikaan merkitystä. Pintavalunnan merkitys kokonaiskuormituksen kannalta oli vähäinen. Noin 20 % tyyppihuhtoumista syntyi pintavalunnan mukana ja se jakautui tasaisesti kevä- ja syyskausille. Kuvassa 7 nähdään tyyppikuormituksen kuukausittainen jakautuminen tarkastelujaksolla.

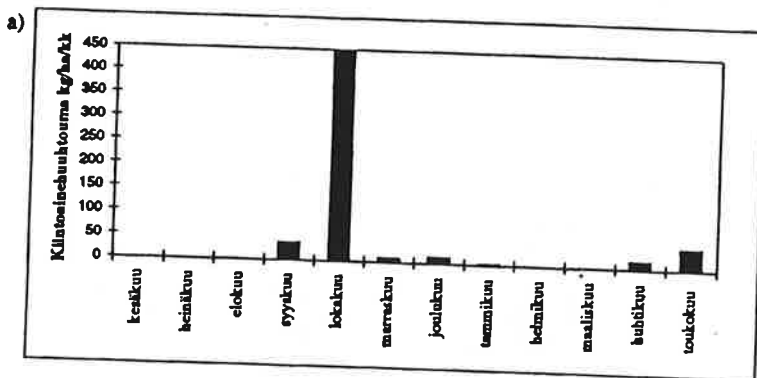


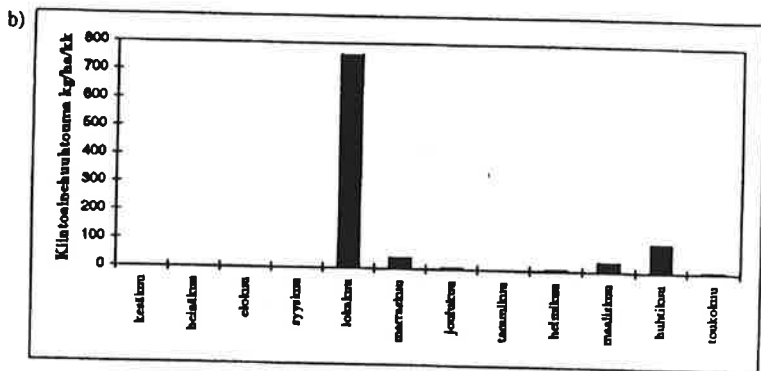
Kuva 7. a) Salaojavalunnan ja b) pintavalunnan aiheuttamat typpiuhutoumat tarkastelujaksolla 1.6.1995-31.5.1995.

Fosfori- ja kiintoainekuormitus ajoittui pääasiassa syyskaudelle, mutta myös huhti-toukokuussa 1995 oli huuhtoutumista. Kuormitushuippu sattui lokakuussa 1994, jolloin syntyi 60 % fosforin vuosihuhtoutumasta ja 80 % kiintoaineshuhtoutumista. Yhteensä tutkimusjaksolla huuhtoutui fosforia 4.5 kg/ha ja kiintoainesta 1495 kg/ha. Salaojahuuhtouma oli 1.9 kg/ha fosforia ja 563 kg/ha kiintoainesta. Fosforia ja kiintoainesta huuhtoutui selvästi enemmän pintavalunnan kuin salaojien kautta. Kuormitusten kuukausittainen jakautuminen on esitetty kuvissa 8 ja 9.



Kuva 8. Kokonaisfosforikuormituksen kuukausittainen jakautuminen tutkimusjaksolla 1.6.1994 - 31.5.1995. a) Salaojahuhtoumat. b) Pintavaluntauhtoumat



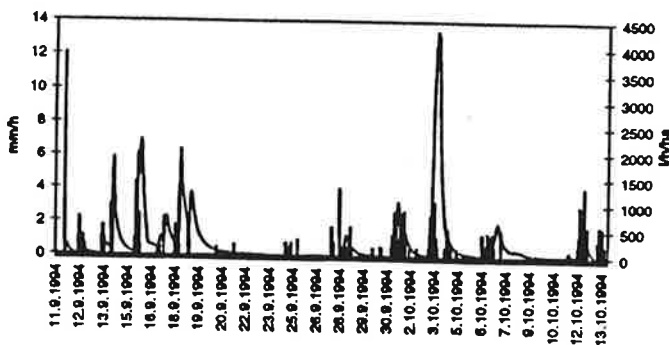


Kuva 9. Kiintoainekuormituksen kuukausittainen jakautuminen tutkimusjaksolla 1.6.1994-31.6.1995. a) Salaojahuuhtoumat. b) Pintavaluntahuuhtoumat

Veden laadun lyhytaikainen vaihtelu

Yksittäisiä sadanta- ja valuntatapahtumia syksyllä 1994 tutkittiin 15 minuutin välein mitatuista havaintosarjoista. Näiden perusteella havaittiin salaojavalunnan alkavan sateen alettua noin kahden tunnin viiveellä, kun maanpinta oli lähes vedellä kyllästynyt. Kuvassa 10 on esitetty sadannan ja valunnan ajoittuminen syksyn 1994 aikana.

Ennen ensimmäistä virtaama-aikasarjan 15.-23.9.1994 jaksoa pohjavedenpinta pellolla oli yli metrin etäisyydellä maanpinnasta. Maa oli pinnasta märkää ja kesän aikana syntyneet halkeamat olivat jo sulkeutuneet. Sateet olivat runsaita ja sattuivat jaksoittain tutkimusjakson aikana aiheuttaen salaojiin useahuippuisen virtaaman. Jakson aikana sademäärä oli noin 60 mm, josta salaojien kautta purkautui 8.6 mm. Tämä on noin 14 % sataneesta vedestä. Loput varastoituivat maaperään nostaen pohjaveden pintaa ja osa valui pintavaluntana suoraan varastoaltaaseen tai valtaojaan.

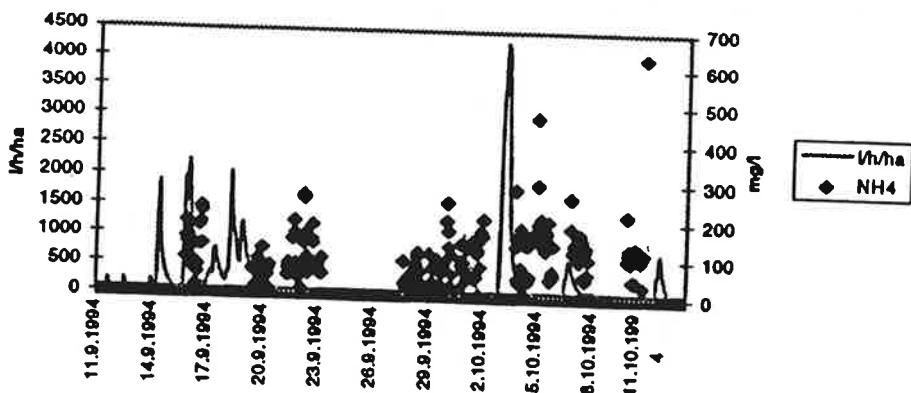


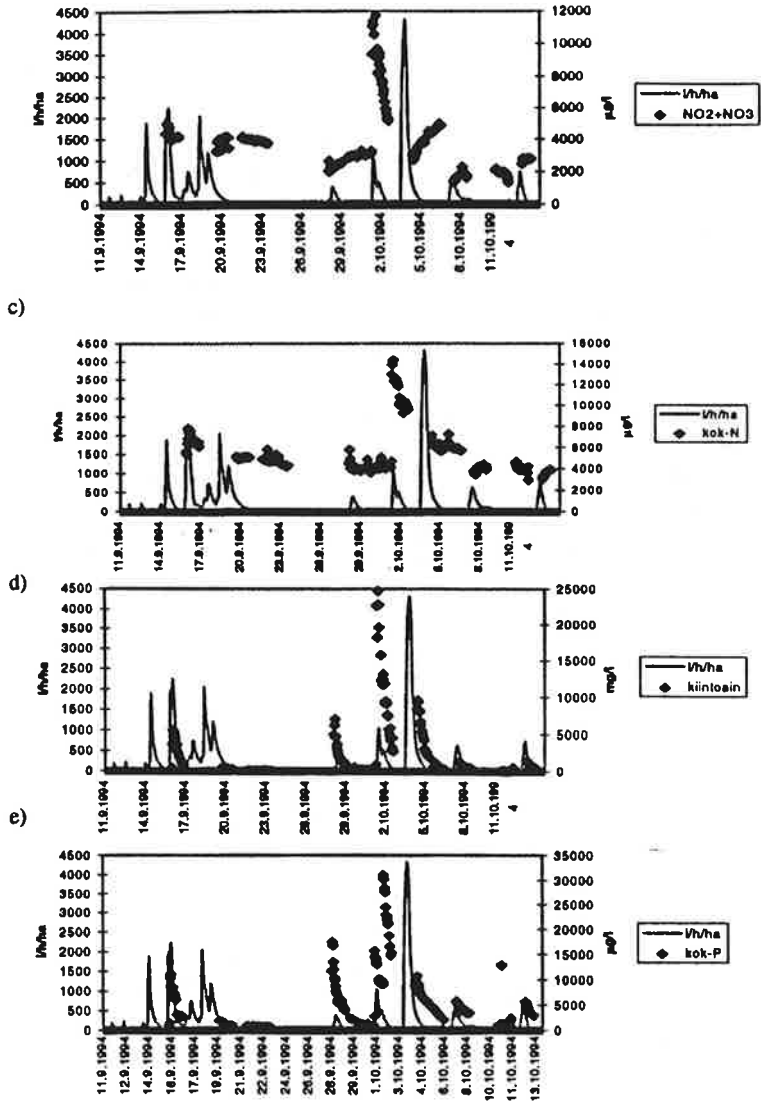
Kuva 10. Sadanta ja virtaama padolla S3 11.9.-13.10.1994.

Salaojavalunnassa jaksolla 28.9.-2.10.1994 esiintyi kaksi selvää huippua. Jälkimmäisen virtaamahuippu oli edellistä jaksoa pienempi, vaikka pohjaveden pinta edellisen jakson aikana oli noussut. Tämä saattaa johtua veden kulkeutumisesta enemmän maamatriisiin kuin halkeamien ja makrohuokosten kautta. Sademäärä ko. jaksolla oli noin 31 mm, ja vastaava salaojavalunta alle 2mm eli noin 6 % sadannasta. Jakson aikana pohjaveden pinta nousi lähelle maanpintaa rinteiden alaosassa. Rinteiden yläosassa ei voitu havaita pohjavedenpinnan nousua, koska pohjavesiputket ulottuivat vain kahden metrin syvyyteen.

Jaksolla 4.-8.10.1994 mitattiin yksi valuntahuippu ja 3.10. sattuneen valuntahuipun laskeva loppupää. Jakson alkaessa pelto oli hyvin märkä ja pohjaveden pinta rinteiden yläosassakin nousi lähelle maanpintaa. Jakson aikana sadanta oli noin 40 mm, josta salaojien kautta purkautui noin 7 mm eli noin 17 % sadannasta. Viimeisen havaintojakson 10-13.10.1994 aikana pohjaveden pinta nousi jo lähes kaikissa pohjavesiputkissa lähelle maanpintaa ja pelto oli hyvin märkä. Jaksolle sattui yksi valuntahuippu, jossa virtaama oli suurimmillaan lähes 45 l/min. Jakson 24 mm:n sademäärästä noin 4 % eli noin 1mm valui salaojiin.

Pitoisuuksien vaihtelut automaattisen näytteenottimen sarjoista on esitetty kuvassa 4.12. Pitoisuuksien voidaan nähdä selkeästi vaihtelevan virtaamatahtumien eri vaiheissa. pH mittauksissa ei lyhytaikaisissa näytesarjoissa voida havaita riippuvuutta virtaamasta. Suurimmat ravinnepitoisuudet mitattiin yleensä virtaamien ollessa suurimmillaan. Ammoniumtyypen pitoisuudet vesinäytteissä vaihtelivat kuitenkin satunnaisesti ilman, että pitoisuuden ja virtaaman välillä olisi havaittu selkeää riippuvuutta. Nitriitin ja nitraatin summan pitoisuus muuttui 4.-8.10.1994 mitatussa sarjassa muista mittausarjoista poiketen siten, että pitoisuus kasvoi virtaamahuipun jälkeen.





Kuva 11. Pitoisuudet ja salaajavalumat tutkimusjaksolla 11.9.-13.10.1994. a) $\text{NH}_4\text{-N}$ b) $\text{NO}_2\text{NO}_3\text{-N}$ c) Kok-N d) Kiintoaines e) Kok-P

Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Sulannan aikana syntyi yli puolet vuotuisesta salaoja- ja pintavalunnasta. Mitattu salaojavalunta 71 mm on kuitenkin pienempi kuin muissa Suomessa tehdyissä tutkimuksissa on savipelloilla vastaavilla sademäärillä mitattu. Sjökullan koekentällä toteutettu säätö voidaan olettaa lähes merkityksettömäksi, koska maalaji on heikosti vettä johtava ja pelto on huomattavan jyrkkä. Säädön vaikutus ulottuu vain kaivojen välittömään läheisyyteen. Sjökullassa salaojavalunnan määrään todennäköisesti vaikuttaa lisäksi vuonna 1938 rakennetun salaajituksen kunto. Mitatun pintavalunnan 120 mm tiedetään olevan todellista jonkin verran pienempi. Virhe johtuu pintavalunnan ohjaamiseksi mittapadolle tehtyjen penkereiden vuodoista sulannan aikana, jolloin osa pintavalunnasta pääsi valumaan ohi mittapadon. Mitattu kokonaisvalunta on siten myös pieni verrattuna kirjallisuudessa esitettyihin valunnan arvoihin savimailla (Turtola & Paajanen, 1995, Turtola & Jaakkola, 1995). Turtola ja Paajanen ovat mitanneet 704 mm sademäärällä vuodessa salaojavaluntaa 124 mm/ha ja pintavaluntaa 158 mm/ha. Vertailua muiden alueiden mittauksiin on kuitenkin vaikeaa tehdä erilaisen maalajin ja muiden valunnan syntyyn vaikuttavien tekijöiden poiketessa toisistaan.

Tutkimusjaksolla huomattavin osa typpihuuhtoumista syntyi toukokuussa 1995 lannoituksen jälkeen. Fosfori- ja kiintoainekuormitus painottui syyskaudelle sekä huhtikuulle kevät sulannan aikoihin. Keväällä sulannan aikaan vesimäärät olivat suuria ja kun pitoisuudetkin olivat keskimääräistä suurempia syntyi silloin suurimmat kuormitukset. Vuotuinen kuormitus ei ole välttämättä vertailukelpoinen muiden tutkimusten kanssa, koska tutkimusjaksolle sattuu kahden lannoituskerran vaikutus. Ensimmäinen lannoitus tehtiin toukokuussa 1994 ja sen aiheuttama kuormitus näkyi kesäkuun salaojavirtaamien suurina pitoisuuksina. Toinen lannoitus tehtiin toukokuun puolivälissä 1995 ja silloin sattuneiden runsaiden sateiden aiheuttamat virtaamat huuhtoivat runsaasti lannoitteita jo toukokuun aikana. Kokonaisuudessa tyyppiä huuhtoutui tutkimusalueelta 14.9 kg/ha ja fosforia 4.5 kg/ha. Typpihuuhtoumasta 12.3 kg/ha tuli salaajista ja 2.6 kg/ha pintavalunnasta. Fosforikuormitus jakautui vaastavasti siten, että salaojahuuhtouma oli 1.9 kg/ha ja pintavalunta huuhtouma 2.6 kg/ha. Kiintoainesta tutkimusjaksolla huuhtoutui noin 1500 kg/ha. Valunta-arvoihin sisältyvistä epätarkkuuksista johtuen todellisuudessa ravinnehuuhtoumat ovat jonkin verran suurempia kuin esitetyt arvot. Toisaalta kuormituksen laskentatapa saattaa jonkin verran suurentaa laskettua huuhtouma-arviota, koska näytteet on yleensä kerätty virtaamahuippujen aikana. Lyhytaikaisten pitoisuusmuutosten tarkastelusta voidaan todeta pitoisuuden yleensä olevan suurimmillaan juuri virtaamahuipun läheisyydessä. Säädöllä on vähäinen merkitys syntyneisiin valuntoihin ja ravinnehuuhtoumiin ja mitatut huuhtoumarvot ovat lähellä keskimääräisiä ravinnehuuhtoumia Suomessa (Rekolainen, 1992). Turtolan ja Paajanen (1995) tutkimusten mukaan keskimääräinen typpihuuhtouma on 12.5 kg/ha/a fosforihuuhtouma 1.2 kg/ha/a.

Syksyllä 1994 kerättyjen näytteiden perusteella määritettiin optimaalista näyteväliä, jolla yksittäisen virtaamatapahtuman pitoisuusvaihtelut voidaan havaita ilman, että näytemäärä kasvaa kohtuuttoman suureksi. Pitoisuusvaihteluiden ja näytteenottotiheyden arvioinnissa käytettiin useita eri näytesarjoja, joiden väliset vaihtelut olivat suuria, mikä estää näytteenottotiheyden yksikäsitteisen määrittämisen. Vedenlaatuajastusarvojen pitoisuuksien riippuvuus virtaaman suuruudesta oli selkeästi havaittavissa kokonaisfosforin ja kiintoaineksen välillä tietyn raja-arvon jälkeen. Ammoniumin ja virtaaman välillä ei selkeää havaittu riippuvuutta. Nitriitin ja nitraatin summan ja kokonaistypen pitoisuudet vaihtelivat vain vähän yksittäisissä ajastusarvoissa, eikä pitoisuusmuutoksilla ollut selkeää yhteyttä virtaaman muutosten kanssa. Lyhytaikaisen tarkastelun perusteella voidaan todeta virtaamahuipun salaojissa olevan muutaman tunnin jäljessä tuntisadannan huippuarvosta. Ravinnepitoisuuksien huippuarvot mitattiin samoissa ajankohdissa virtaaman huippuarvojen kanssa.

Kirjallisuus

Kankaanranta, J. 1996. Veden virtaus ja ravinteiden huuhtoutuminen savi- maassa. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja Maanmittaus- tekniikan osasto.

Rekolainen, S. 1993. Assessment and mitigation of agricultural water pollution. Publications of the water and environment research institute. National board of waters and environment

Turtola, E. & Jaakkola, A. 1995. Loss of phosphorus by surface runoff and leaching from a heavy clay soil under barley and grass ley in Finland. Acta Agric. Scand. Sect. Soil and Plant Sci. vol 45. Pp. 159-165.

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

SAVIMAAN UUSINTASALAOJITUKSEN VAIKUTUS FOSFORIN JA TYPEN HUUHTOUTUMISEEN

Eila Turtola

Maatalouden tutkimuskeskus
Maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusala

Johdanto

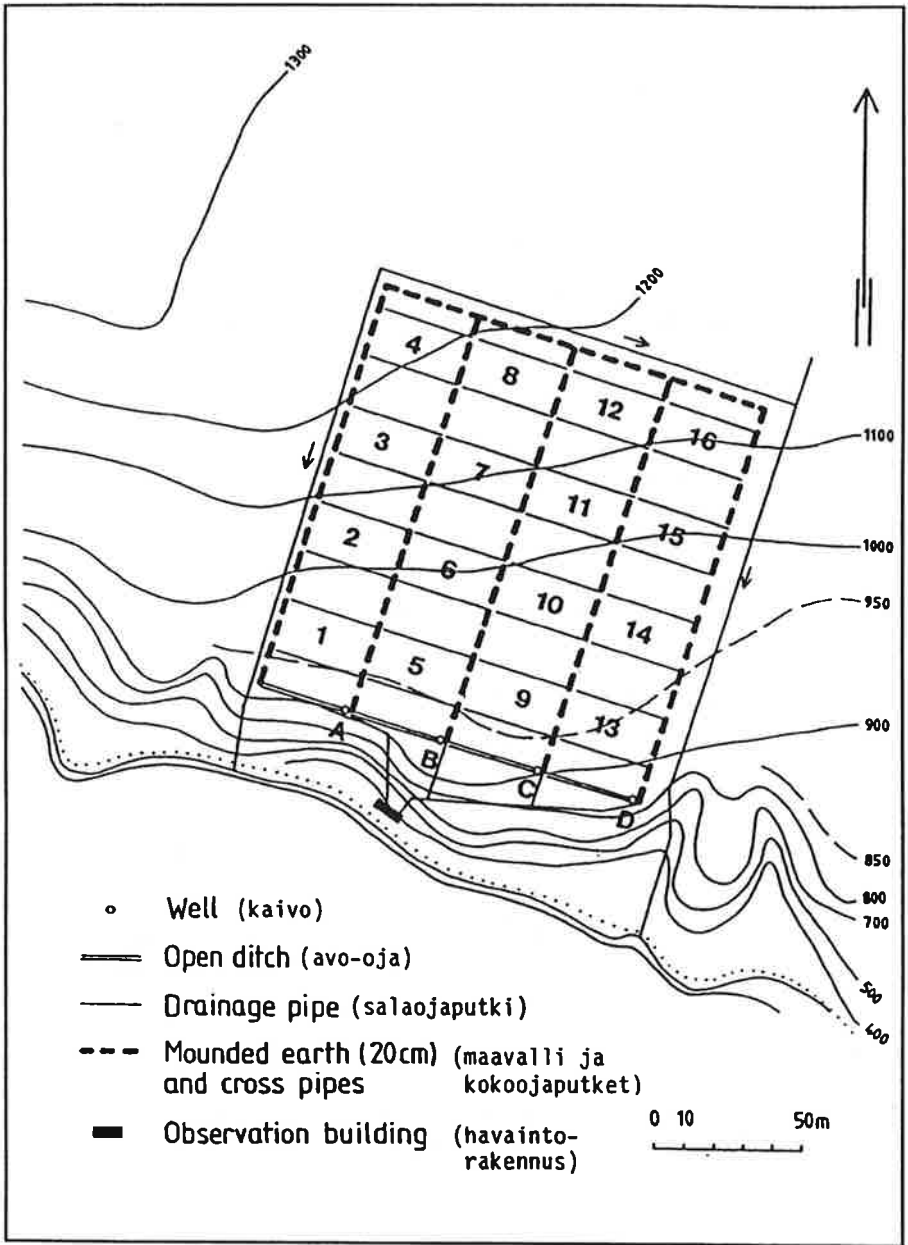
Salaojituksen huono toimivuus lisää erityisesti syksyllä ja keväällä viettäviltilä pelloilta tulevaa pintavaluntaa. Runsas veden pintavirtailu lisää eroosioriskiä etenkin suurten peltolohkojen alareunoilla. Eroosion kasvaessa lisääntyy myös maahiukkasten mukana kulkeutuvan partikkelifosforin kuormitus. Fosforilannoituksen seurauksena maan pintakerros sisältää yleensä pohjamaata enemmän helppoliukoista fosforia, josta osa liukenee pinnalla virtaavaan veteen.

Kun pelto uusintaojitetaan, pintavalunnan määrä vähenee, sillä uusien salaojakaivantojen täyttömaa läpäisee hyvin maan pintakerroksissa kulkeutuvaa vettä. Veden imeytyessä syvemmälle maahan partikkelifosforin ja liuenneen fosforin pitoisuus voi laskea suodattumisen ja sorption seurauksena. Sensijaan nitraattityppi liikkuu helposti maahan imeytyvän veden mukana syvemmälle, aina salaoja- ja pohjaveteen asti.

Koska salaojavalunnan fosforipitoisuus on yleensä pienempi ja typpipitoisuus suurempi pintaveteen verrattuna, ojituksen aiheuttama veden kulkureittien muuttuminen voi vaikuttaa peltolohkolta tulevaan vesistökuormitukseen. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida salaojitukseltaan huonosti toimivan peltolohkon uusintaojittamisen vaikutusta fosforin ja typen huuhtoutumiseen.

Koekenttä ja uusintasalaojituksen toteutus

Uusintasalaojituksen vaikutusta maa-ainekseen kiinnittyneen fosforin kulkeutumiseen sekä liuenneen ortofosfaattifosforin ja typen huuhtoutumiseen tutkittiin Jokioisten savimaan huuhtoutumiskentällä. Kentän maalaji oli hiesu- ja aitosavea (Taulukko 1), ja viettävyys noin 2 %. Maan fosforitila oli välttävä. Huuhtoutumiskenttä oli salaojitettu siten, että muodostui 16 noin 11 aarin suuruista ojastoa, joilta tullut salaojavesi kerättiin kokoojaputkien avulla havaintorakennukseen ja analysoitiin erikseen (Kuva 1). Salaojasyvyys oli noin 1 m ja ojaväli 16.5 m. Kentän alalaidassa olevan avo-ojan ja kaivojen avulla



Kuva 1. Jokioisten savimaan koekenttä.

Taulukko 1. Koekentän maan hiukkaskokojakauma (%), suluisissa vaihteluväli.

Syvyys	<0.002 mm	0.002-0.02 mm	>0.02 mm
0-20 cm	61 (43-79)	16 (9-21)	23
20-40 cm	83 (62-93)	8 (3-6)	9
40-80 cm	90 (73-94)	6 (2-14)	4

koottiin alueen pintavedet mittauksia varten. Salaoja- ja pintavesistä määritettiin eroosioaineksen, kokonaisfosforin, liunneen ortofosfaattifosforin, kokonaistypen ja nitraattitypen pitoisuudet. Eroosioaines-, kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppi-analysit tehtiin suodattamattomista ja nitraattitypen ja liunneen ortofosfaattifosforin analysit suodatetuista näytteistä (Turtola & Paajanen 1995).

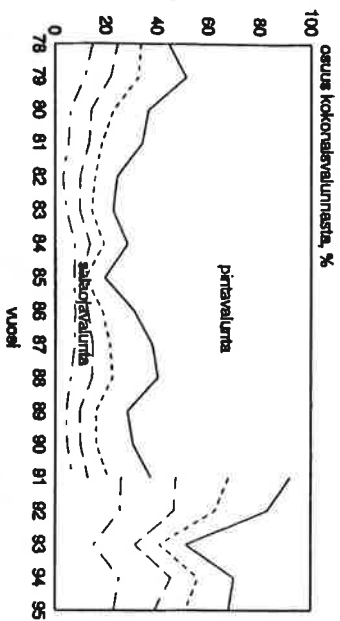
Kesällä 1991 kaivettiin uudet salaojat entisten viereen, ja liitettiin ne vanhoihin kokoojoihin. Salaojaputken päälle levitettiin noin 15 cm soraa. Vedenläpäisevyyden parantamiseksi kaivantoon tehtiin lisäksi 60 cm korkeita sorasilmäkkeitä seitsemän metrin välein. Kentän yläosassa pintamaa oli hyväkenteistä, joten sitä käytettiin salaojien täyttömaana. Koska alaosassa pintamaan rakenne oli huono, ja täytön aikaiset sadekuurot vielä kastelivat maata pahoin, alaosan kaivantojen täyttöaineena käytettiin puuhaketta. Puuhake soveltuu Maatalouden tutkimuskeskuksessa tehtyjen kokeiden mukaan hyvin kaivantojen täyttömateriaaliksi.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

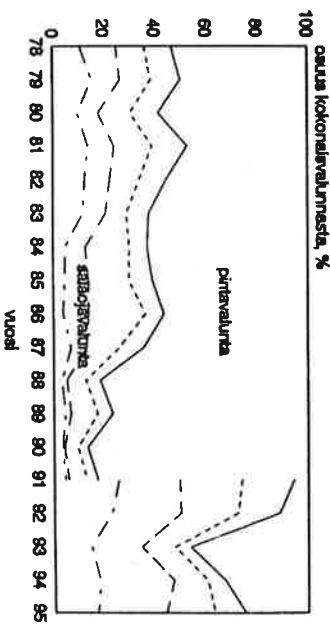
Vuodelta 1962 peräisin olevan vanhan ojaston toimivuus oli heikentynyt niin, että 1980-luvun lopulla enää 10-40 % vuoden kokonaisvalunnasta oli salaojavettä (Kuva 2). Salaojavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli laskenut erityisesti kentän alaosassa, missä suurin osa vedestä purkautui avo-ojiin joko aivan pinnanmyötäisesti tai kyntökerroksen kautta. Kyntökerroksen alapuolisessa maassa vedenläpäisykyky oli erittäin heikko, ja vähäinen virtaus salaojiin tapahtui lähellä salaojakaivantoa sijainneiden halkeamien ja juurikanavien kautta. Koska maan pintakerroksessakin oli niukasti suuria huokosia, veden pintavirtailua alkoi esiintyä jo 5-10 mm:n sateen jälkeen.

Uusintaojituksen jälkeen maan pintakerroksessa virtaileva vesi imeytyi maahan hyvin vettä läpäisevän salaojakaivannon kohdalla. Salaojavalunta runsastui voimakkaimmin kentän alaosassa sijainneista ojastoista, jotka oli täytetty puuhakkeella. Syksyllä 1991 välittömästi uusintaojituksen jälkeen salaojavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli kyntömaalla yli 90 %, mutta osuus laski kahdessa vuodessa noin 60 %:iin (Kuva 2). Vuonna 1992 perustetulta nurmelta salaojavalunnan osuus pieneni 50-40 %:iin kokonaisvalunnasta (Kuva 2, vuodet 1993-94 lohkoilla B ja D, vuosi 1993 lohkoilla A ja C). Seuraavassa tarkastellaan sekä kynnetyiltä että nurmipeitteisiltä ruuduilta tulleiden salaoja- ja pintavesien ravinnepitoisuuksia ojitusta edeltävien ja sen jälkeisten valuntajaksojen aikana.

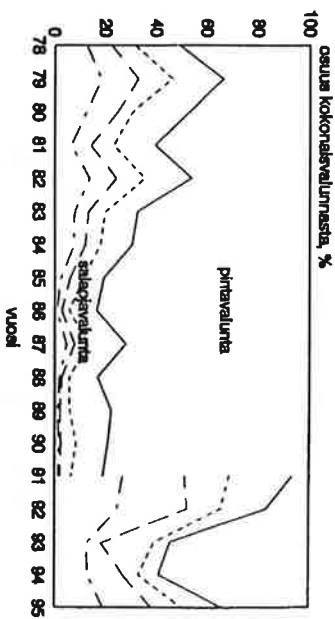
A-lohko



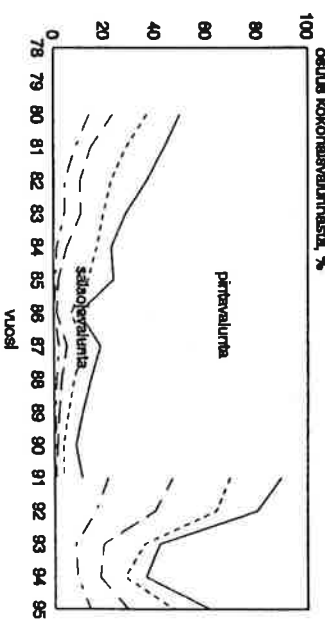
C-lohko



B-lohko



D-lohko



Kuva 2. Kokonaisvalunnan jakautuminen salaojavaluntaan ja pitävaluntaan koekentällä vuosina 1978-95. Uusinatasajoituksen ajankohhta: kesä 1991.

Taulukko 2. Maa-aineksen (g/l), partikkelifosforin (PP), liuennun ortofosfaattifosforin (PO₄-P), kokonaistypen (Kok.N) ja nitraattitypen (NO₃-N) pitoisuus, mg/l, kynnetyltä ja nurmipeitteiseltä maalta tulleessa salaoja- ja pintavedessä uusintaajitusta edeltävän (Ennen) ja sitä seuraavan (Jälkeen) talvikauden aikana. Kaivantojen täyttömateriaali: pintamaa ja sora kentän yläosassa, puuhake ja sora alaosassa.

Täyttö	KYNTÖMAA					
	Salaojavesi				Pintavesi	
	Pintamaa		Puuhake			
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
Maa-aines (g/l)	0.41	0.36	0.46	0.49	0.52	0.39
PP (mg/l)	0.20	0.17	0.13	0.29	0.27	0.27
PO ₄ -P (mg/l)	0.040	0.028	0.037	0.026	0.036	0.039
Kok.N (mg/l)	6.1	7.9	2.9	3.3	3.2	2.0
NO ₃ -N (mg/l)	5.5	6.8	2.6	2.7	2.7	1.6
Täyttö	NURMI					
	Salaojavesi				Pintavesi	
	Pintamaa		Puuhake			
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
Maa-aines (g/l)	0.35	0.40	0.30	0.36	0.47	0.40
PP (mg/l)	0.20	0.20	0.12	0.25	0.25	0.26
PO ₄ -P (mg/l)	0.034	0.027	0.027	0.018	0.034	0.077
Kok.N (mg/l)	1.8	6.2	1.5	1.8	1.3	2.2
NO ₃ -N (mg/l)	1.3	5.2	1.1	1.2	0.6	0.6

Ennen uusintaajitusta vesi virtasi salaojastoon hitaasti suodattuen niin, että salaojavesien maa-aines- ja siihen kiinnittyneen partikkelifosforin pitoisuudet olivat hieman pintaveden pitoisuuksia pienempiä (Taulukko 2). Kun ojituksen jälkeen pinnanmyötäisesti virrannut vesi kulkeutui pintamaalla täytetyn salaojakaijannon kautta ojastoon, täyttömaa toimi vastaavasti suodattimena ja partikkelifosforin pitoisuus vedessä väheni. Sen sijaan puuhake ei suodattanut hiukkasiin kiinnittynyttä partikkelifosforia. Sekä pintamaalla että hakkeella täytetyt kaivannot pystyivät sitomaan vedestä liuenntua ortofosfaattifosforia (Taulukko 2). Pintaveden ja salojaveden pitoisuuksista ennen ja jälkeen uusintaajituksen voidaan päätellä, että uudet kaivannot kykenivät sitomaan ortofosfaattia tehokkaammin kuin halkeamat ja juurikanavat, jotka toimivat ennen ojitusta veden kulkeutumisreiteinä.

Uusintaajitus vaikutti typen pitoisuuksiin päinvastaisesti. Ojituksen jälkeen salojaveden kokonaistyyppi- ja nitraattipitoisuus oli aikaisempaa korkeampi (Taulukko 2). Syynä oli ilmeisesti maan parantuneen happitilanteen aikaansaama kiihtynyt orgaanisen typen mineralisaatio ja nitrifikaatio. Näiden prosessien tuloksena maassa muodostui aikaisempaa enemmän huuhtoutumisaltista nitraattia.

Kynnetyltä maalta tulleiden salaoja- ja pintaveden pitoisuuksien ja valunnan perusteella laskettiin huuhtoutumiskentältä tullut maa-ainesmäärä sekä fosfori ja typpikuormitus ennen ojitusta ja sen jälkeen. Ojitus lisäsi laskelman mukaan selvästi savimaalta tullutta typpihuuhtoutumaa (Taulukko 3) johtuen salaojavesivalunnan voimakkaasta lisääntymisestä ja salojaveden typpipitoisuuden noususta. Myös Seuna ja Kauppi (1981) ja Harris ym. (1984) havaitsivat salaojituksen lisäävän huomattavasti typpihuuhtoutumaa ojitamattomaan maahan verrattuna.

Jos kaivannot oli täytetty pintamaalla, ojitus vähensi sen sijaan hieman eroosiota ja partikkelifosforin kulkeutumista vesistöön. Liunneen ortofosfaatti-

Taulukko 3. Salaoja- ja pintavalunnan suuruus, maa-aineksen, partikkelifosforin (PP) ja liunneen ortofosfaattifosforin (PO_4 -P) kulkeutuminen sekä kokonaistyyppi- (Kok.N) ja nitraattityppihuuhtoutuma (NO_3 -N) ennen ja jälkeen uusintasalaojituksen savimaan koekentällä. Salaojakaijantojen täyttömateriaalina pintamaa.

	Salaoja		Pintavesi		Yhteensä	
	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen	Ennen	Jälkeen
Valunta (mm)	68	293	215	29	283	322
Maa-aines (kg ha^{-1})	292	1056	1116	112	1408	1168
PP (kg ha^{-1})	0.11	0.50	0.58	0.08	0.69	0.58
PO_4 -P (kg ha^{-1})	0.03	0.09	0.09	0.01	0.12	0.09
Kok.N (kg ha^{-1})	3.1	16	6.9	0.58	10	17
NO_3 -N (kg ha^{-1})	2.8	14	5.8	0.46	8.6	14

fosforin kulkeutuminen pieneni 25 % (Taulukko 3). Seunan ja Kaupin (1981) tutkimuksessa fosforikuormitus ei pienentynyt, mutta Bengtson ym. (1988) ja Schwab ym. (1980) havaitsivat salaojituksen vähentäneen eroosiota ja kokonaisfosforikuormitusta huomattavasti.

Edellä esitetty laskelma koskee vain ojituksen välittömiä vaikutuksia. Myöhemmin salaojakaivantojen vedenläpäisykyky heikkenee ja pintavalunnan osuus alkaa kasvaa. Toisaalta maan vedenläpäisykyky voi parantua kauttaaltaan, jos maassa säilyy hyvät edellytykset syvälle juuriston kehitykselle ja hierojen toiminnalle.

Johtopäätökset

Huonosti toimivan salaojituksen uudistaminen voi vähentää savimaalta tulevaa ortofosfaattifosforin kuormitusta. Eroosio ja partikkelifosforin kuormitus eivät näytä vähenevän yhtä selvästi, vaikka kaivantojen täyttömateriaalina käytetty pintamaa pystyykin hieman suodattamaan sen kautta kulkeutuvaa valuntavettä. Puuhake täyttöaineena ei vähennä eroosiota ja partikkelifosforin kulkeutumista. Salaojavalunnan osuuden suurentuminen ja ojituksen jälkeen kiihtyvää orgaanisen tyyppien mineralisaatio voivat johtaa lisääntyvään tyyppien huuhtoutumiseen.

Salaojitus on yleensä peruskunnostusta pellon viljeltävyyden parantamiseksi. Salaojituksen ympäristövaikutukset on puolestaan arvioitava ottamalla huomioon vastaanottavien vesistöjen tila. Jos ortofosfaattifosforin kuormitus on rajoittavana tekijänä levätuotannolle, salaojituksen parantaminen saattaa olla tehokas keino vähentää rehevöitymistä. Jos taas rajoittavana ravinteena on typpi, salaojitusta ei voida suositella tähän tarkoitukseen.

Kirjallisuus

Bengtson, R.L., Carter, C.E., Morris, H.F. & Bartkiewicz, S.A. 1988. The influence of subsurface drainage practices on nitrogen and phosphorus losses in a warm, humid climate. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 31: 729-733.

Harris, G.L., Goss, M.J., Dowdell, R.J., Howse, K.R. & Morgan, P. 1984. A study of mole drainage with simplified cultivation for autumn-sown crops on a clay soil 2. Soil water regimes, water balances and nutrient loss in drain water, 1978-80. *J. Agric. Sci. (Camb)* 102:561-581.

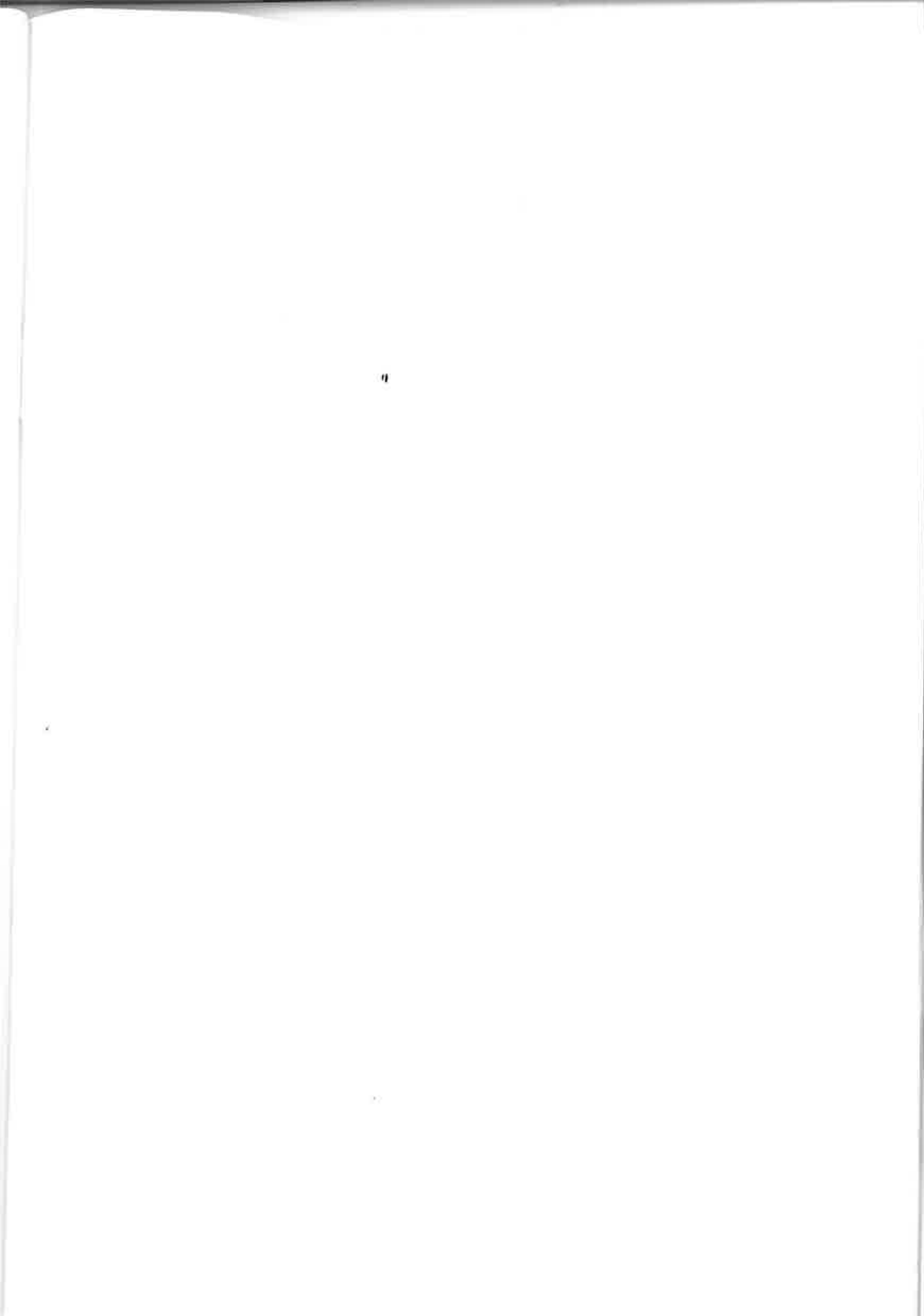
Schwab, G.O., Fausey, N.R. & Kopicak, D.E. 1980. Sediment and chemical content of agricultural drainage water. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 24: 1446-1449.

Seuna, P. & Kauppi, L. 1981. Influence of sub-drainage on water quality in a cultivated area in Finland. *Publ. Wat. Res. Inst.* 43: 32-47. National Board of Waters, Helsinki, Finland.

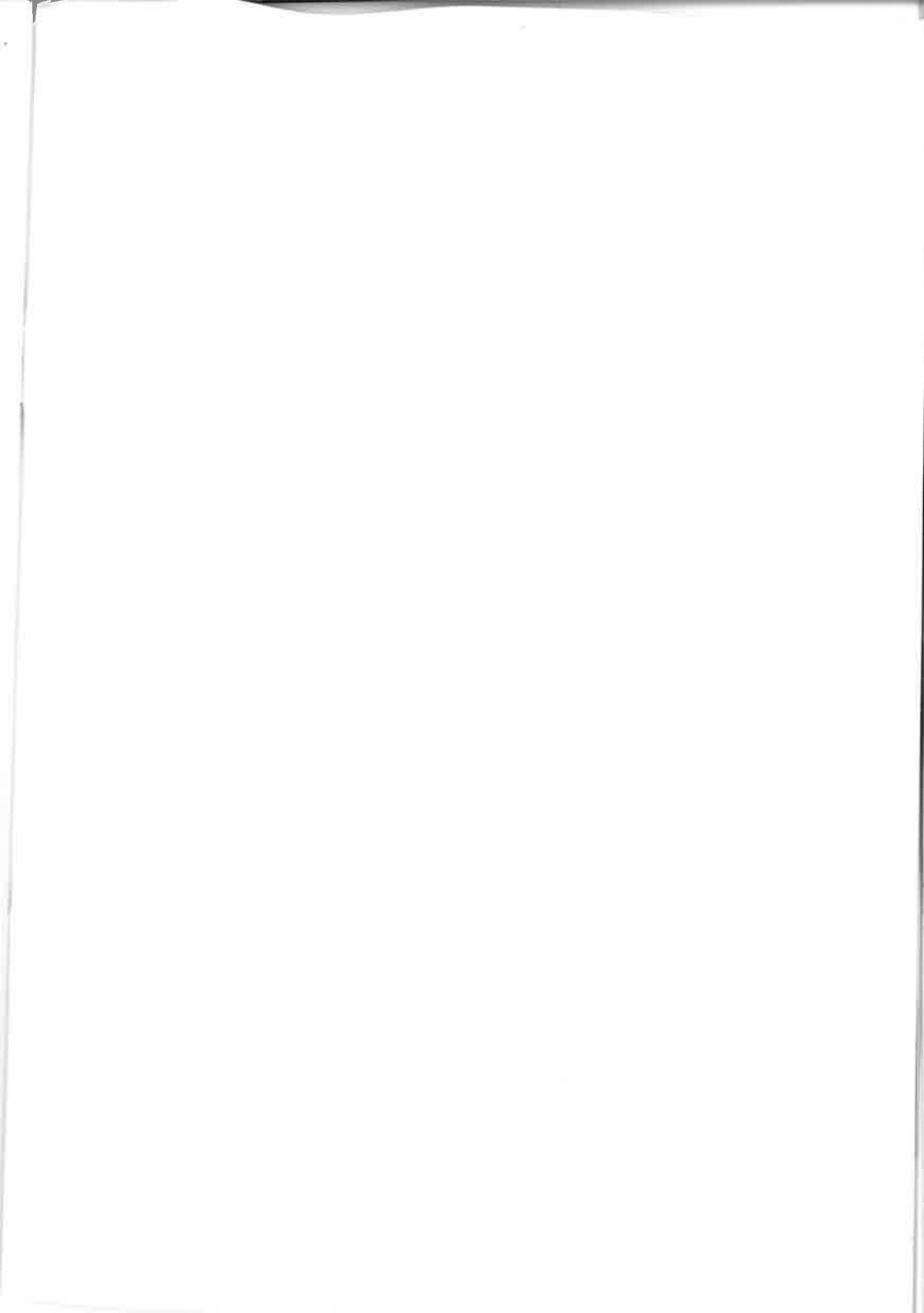
Turtola, E. & Paajanen, A. 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. *Agr. Water Manage.* 28: 295-310.

Aikaisemmin ilmestyneet Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet:

- 1 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita salaojitustutkimuksesta (1987)
- 2 Salaojatutkimusta koskevia aiheita (1987)
- 3 Salaojituskoetoiminnasta Ruotsissa ja salaojaputken ympärysaineista (1987)
- 4 Salaojatutkimuksia vuosilta 1987...1988 (1988)
- 5 Kuivatusta ja kastelua koskevia tutkimuksia (1988)
- 6 Maan tiivistymisen tutkimisesta Ruotsissa ja salaojatutkimuksesta Suomessa (1989)
- 7 Salaojaseminaari Osuuspankkiopistolla 27.9.1988 (1989)
- 8 Salaojituksen tavoiteohjelma, näkymiä vuoteen 2010 saakka (1989)
- 9 Sievin salaojituspäivät 20.-21.9.1989 ja ajankohtaista asiaa ympärysaineista (1989)
- 10 Maaseudun ympäristöpäivä Laukaalla 20.3. ja Jokioisissa 26.3.1990 (1990)
- 11 Turve- ja kivennäismaiden vesitaloudesta sekä rautasaostuman muodostumisesta (1990)
- 12 Salaojitusnäkymiä maailmalta (1990)
- 13 Kenttätutkimusmenetelmistä paineenalaisilla salaojitusalueilla sekä Junkkarinjärven pengerrys (1991)
- 14 Myyräojituksesta (1991)
- 15 Zaitsevo - koekentän tuloksia (1992)
- 16 Säättösalaojitus -koekenttien perustaminen (1992)
- 17 Turvemaiden salaojituksesta ja suoto-ojituksesta
- 18 Säättösalaojitus - tutkimustuloksia vuosilta 1992-1993
- 19 Agriculture sector reform in the Baltic republics (1995)
- 20 Maatalouden kehitysnäkymät Baltian maissa lähivuosina (1995)







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