Suorakylvön soveltuvuus käytännön vesiensuojelutyöhön

Laura Alakukku, Eila Turtola, Anne-Mari Ventelä, Visa Nuutinen, Erkki Aura, Risto Uusitalo

MTT

PYHÄJÄRVEN SUOJELURAHASTO

PYHÄJÄRVI INSTITUUTTI

Suorakylvön soveltuvuus käytännön vesiensuojelutyöhön

Esiselvitys

Laura Alakukku[1], Eila Turtola[1], Anne-Mari Ventelä[2],
Visa Nuutinen[1], Erkki Aura[1], Risto Uusitalo[1]

[1]MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus),
Ympäristöntutkimus, Maaperä ja ympäristö, 31600 Jokioinen
Sähköposti: etunimi.sukunimi@mtt.fi

[2] Pyhäjärvi-instituutti / Pyhäjärven suojelurahasto
Ruukinpuisto, 27500 Kauttua (Eura),
Sähköposti;etunimi.sukunimi@pyhajarvi-instituutti.fi

Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja Sarja A nro 28
Eura 2004

Julkaisija
Pyhäjärvi-instituutti, Ruukinpuisto, 27500 Kauttua
Puh. (02) 838 0600, fax (02) 838 0660
Sähköposti: p-i@pyhajarvi-instituutti.fi
www.pyhajarvi-instituutti.fi

Painosmäärä 400 kpl
ISBN 952-9682-33-6
ISSN 0789-922x

Eura Print Oy 2004

Saatteeksi

Suorakylvö on viime vuosina herättänyt vilkasta keskustelua. Viljelijät tavoittelevat suorakylvöön siirtymisellä ensisijaisesti kustannus- ja työaikasäästöä. Niiden ohella mahdollisuus vähentää peltoviljelyn aiheuttamaa vesistökuormitusta suorakylvön avulla kiinnostaa sekä viljelijöitä että ympäristöhallintoa. Suomen oloihin soveltuvaa tutkimustietoa aiheesta on kuitenkin toistaiseksi ollut vähän käytettävissä.

Tässä esiselvityksessä tutkittiin pitkään suorakylvetyillä pelloilla, miten suorakylvö muutti maan rakennetta, eroosiota, pintavalunnan todennäköisyyttä ja fosforin huuhtoutumisriskiä. Esiselvitys toteutettiin pääosin Lounais-Suomessa, Säkylän, Euran ja Yläneen kunnan alueella sijaitsevan Pyhäjärven valuma-alueella. Pyhäjärveä uhkaa edelleen rehevöityminen, vaikka alueella on pitkään ja laajasti toteutettu suojelutoimia. Järven ulkoisesta fosforikuormituksesta yli 60 % on peräisin Yläneenjoen ja Pyhäjoen valuma-alueilta.

Valuma-alueen viljelijät ovat lisääntyvässä määrin kiinnostuneita suorakylvöstä. Pyhäjärven suojelurahastolle on esitetty, että Pyhäjoen ja Yläneenjoen alueet toimisivat suorakylvön vesiensuojelullisena koealueena, jossa kuormituksen kannalta mitattavissa olevat osavaluma-alueet olisivat suorakylvön piirissä. Tämä voitaisiin toteuttaa alueella jo olemassa olevalla konekannalla. Hankkeen tavoitteena olikin selvittää alustavasti, mitkä ovat suorakylvön vaikutukset, mitä sosioekonomisia seurauksia siitä on ja miten mahdollisesti koko alueen suorakylvöön siirtyminen käytännössä voisi onnistua. Alueen viljelijöitä haastateltiin ja heille järjestettiin suorakylvöön liittyvää koulutusta.

Esiselvitys tehtiin Pyhäjärvi-instituutin/Pyhäjärven suojelurahaston ja MTT:n (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus) Maaperä ja ympäristö vastuualueen yhteistyönä. MTK-Satakunta ja MTK-Varsinais-Suomi avustivat koelohkojen valinnassa. Yksi koelohko oli agronimi, MMM Markku Puustisen suunnittelemalla Suomen ympäristökeskuksen pintavaluntakentällä Aurajoen varressa. Esiselvityksessä verrattiin suorakylvettyä maata kynnettyyn maahan. Kyselytutkimuksessa yhteistyötä tehtiin Työtehoseura ry:n kanssa.

Maaperä ja kuormitus –osan (luku 3) tekijänä on toiminut MTT:n tutkimusryhmä, jossa koordinoinnista ja osatoteutuksesta on vastannut erikoistutkija, MMT **Laura Alakukku** ja muista osatoteutuksista erikoistutkija, MMT **Eila Turtola,** vanhempi tutkija, FT **Visa Nuutinen,** professori, MMT **Erkki Aura** ja tutkija, MMM **Risto Uusitalo**. Haastattelututkimusosan (luku 4) on tehnyt Pyhäjärvi-instituutin / Pyhäjärven suojelurahaston projektipäällikkö, FT **Anne-Mari Ventelä**. Muut julkaisun luvut on toteutettu yhteistyönä. Haastattelujen käytännön toteutuksen hoitivat viljelijät Jukka Heinonen ja Henry Salmenoja ja aineistojen käsittelyssä avusti ympäristötekniikan opiskelija Tero Forsman suojelurahastosta.

Hankkeen rahoitus jakaantui kahteen osaan: ensimmäisessä vaiheessa rahoittaja oli ympäristöministeriö ja toisessa vaiheessa Lounais-Suomen ympäristökeskus.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat limnologi Pirkko Valpasvuo-Jaatinen ja ylitarkastaja Lassi Liippo Lounais-Suomen ympäristökeskuksesta, professori Erkki Aura, erikoistutkija Laura Alakukku, vanhempi tutkija Visa Nuutinen ja erikoistutkija Eila Turtola MTT:sta sekä toiminnanjohtaja Erkki Salomaa ja projektipäällikkö Anne-Mari Ventelä Pyhäjärvi-instituutista/Pyhäjärven suojelurahastosta.

Lämmin kiitos kaikille hankkeessa mukana olleille tutkijoille, viljelijöille, yhteisöille, rahoittajille ja MTT:n tekniselle henkilökunnalle. Toivomme, että tämä julkaisu osaltaan antaa aineksia suorakylvön vaikutuksista eri toimijoiden päätöksentekoon.

Eurassa ja Jokiosilla huhtikuussa 2004

PYHÄJÄRVI-INSTITUUTTI

Erkki Salomaa
Toiminnanjohtaja

MAA- JA ELINTARVIKE-TALOUDEN TUTKIMUSKESKUS, MTT

Laura Alakukku
Erikoistutkija

Tiivistelmä

Tutkimustietoa suorakylvön soveltuvuudesta vesiensuojelutyöhön Suomen olosuhteissa on vähän saatavilla. Tässä esiselvityksessä tutkittiin pitkään suorakylvetyillä pelloilla, miten suorakylvö muuttaa viljelymaan rakennetta sekä vaikuttaa eroosion syntyyn, pintavalunnan todennäköisyyteen ja fosforin huuhtoutumisriskiin. Verranteena oli kynnetty maa. Tutkimus toteutettiin pääosin viljelijöiden pelloilla Säkylän, Euran ja Yläneen kunnan alueella sijaitsevan Pyhäjärven valuma-alueella. Lisäksi tutkimuskohteena oli Suomen Ympäristökeskuksen Aurajoen valuntakenttä. Pyhäjärven valuma-alueen viljelijöiden haastatteluilla selvitettiin, miten alueen suorakylvöön siirtyminen käytännössä voisi onnistua ja mitä sosioekonomisia seurauksia siitä olisi.

Suorakylvö vähensi maan pinnan eroosioalttiutta. Suorakylvetyssä maassa sateen ja pintavalunnan kuluttavaa vaikutusta estivät kasvipeitteen antama suoja, maan eloperäisen aineksen lisääntymisen aikaansaamat muutokset sekä maan pinnan tiiveys.

Tutkimuksessa kävi selvästi ilmi, että suorakylvetyn maan huokosrakenteen muodostumisessa biologisilla tekijöillä on keskeinen asema. Pyhäjärven alueella suorakylvö oli johtanut lierokantojen kasvuun. Suorakylvetyssä maassa lierojen runsaus oli positiivisessa vuorosuhteessa maan suurten huokosten määrän kanssa ja lieronkäytävät lisäsivät maan vedenjohtavuutta. Suorakylvetyssä maassa oli pinnasta jankon alaosaan jatkuvia lierokanavia, mikä on pintavalunnan ehkäisyn ja märän maan rakenteen toiminnan kannalta myönteinen tulos. Tulosten mukaan suorakylvetyn maan makrohuokosrakenne ei selkeästi vähentänyt pellolta tulevan pintavalunnan riskiä. Esimerkiksi märän suorakylvetyn maan kyky varastoida hetkellisesti vettä oli keskimäärin pienempi kuin kynnetyn maan.

Pitkäaikainen suorakylvö kerrytti helppoliukoista fosforia maan pintakerrokseen. Kertymisestä aiheutuu fosforin lisäkuormitusta vesistöön, jos peltolohkolla muodostuu pintavaluntaa. Myös maan pinnalle jäävästä kasviaineksesta huuhtoutuu jonkin verran fosforia. Kertymisestä ei ole haittaa ympäristölle, jos maan vedenläpäisevyys on riittävä syksyn ja kevään valuntahuippujen aikana. Muokkausta-

vasta riippumatta merkittävä osa maahan imeytyneen veden huuhtomasta fosforista ja maa-aineksesta näytti sitoutuvan ja suodattuvan veden kulkiessa maan läpi. Tulokset osoittivat, että suorakylvössä on kiinnitettävä erityisen paljon huomiota maan hyvän vedenläpäisevyyden säilyttämiseen ja ojituksen toimivuuteen.

Ominaisuuksiltaan samanlaisten lohkoparien valinta osoittautui vaikeaksi tehtäväksi Pyhäjärven alueella. Eniten tulosten tulkintaa vaikeutti kahden suorakylvökyntö -parin merkittävä ero maan fosforipitoisuudessa. Erot olivat niin suuria, etteivät ne voineet kokonaan johtua muokkauksesta. Suurin erojen syy oli todennäköisesti lohkojen erilainen viljelyhistoria. Siten kaikkia tutkimuksessa havaittuja eroja lohkoparien fosforitilassa ja fosforin huuhtoutumisriskissä ei voida tulkita yksinomaan suorakylvöön siirtymisestä johtuvaksi.

Tutkimuksessa eroosio- ja huuhtoutumisriskin arviointi perustui laboratoriomittauksiin suhteellisen pienistä maanäytteistä. Siten tulosten perusteella ei saada kuvaa kaikista niistä tekijöistä, jotka voivat vaikuttaa peltolohkon mittakaavassa vesistökuormituksen muodostumiseen.

Suorakylvö tulee lisääntymään nopeasti mm. tilakoon kasvamisen vuoksi. Menetelmään liittyy kiistattomia ympäristöhyötyjä, kuten pienempi polttoaineen kulutus, peltoeläimistön elinympäristön paraneminen ja todennäköisesti myös vähentyvä typen huuhtoutuminen. Tämä tutkimus kuitenkin osoitti, ettei suorakylvö välttämättä pysty yksittäisenä vesiensuojelutoimenpiteenä vähentämään fosforikuormitusta. Suorakylvön soveltaminen vesiensuojelutyössä vaatii jatkotutkimusta mm. ravinteiden kierron, suorakylvöön parhaiten soveltuvan lannoituksen, lannoitteiden ja kalkituksen sekä maan läpäisevän rakenteen varmentamisen osalta.

Haastattelututkimuksessa selvitettiin sekä suorakylvöä että tavanomaisia menetelmiä käyttävien viljelijöiden suhtautumista suorakylvöön. Haastattelujen perusteella suorakylvö yleistyy voimakkaasti Pyhäjärven valuma-alueella. Viljelijöiden arvioiden mukaan suorakylvö vaikuttaa positiivisesti sekä tilan talouteen että ympäristöön parantamalla mm. maaperän rakennetta.

Suorakylvön soveltuvuus käytännön vesiensuojelutyöhön

Suorakylvö on viime vuosina herättänyt vilkasta keskustelua. Viljelijät tavoittelevat suorakylvöön siirtymisellä ensisijaisesti kustannus- ja työaikasäästöä. Niiden ohella mahdollisuus vähentää peltoviljelyn aiheuttamaa vesistökuormitusta suorakylvön avulla kiinnostaa sekä viljelijöitä että ympäristöhallintoa. Suomen oloihin soveltuvaa tutkimustietoa aiheesta on kuitenkin toistaiseksi ollut vähän käytettävissä.

Tässä esiselvityksessä tutkittiin pitkään suorakylvetyillä pelloilla, miten suorakylvö muutti maan rakennetta, eroosiota, pintavalunnan todennäköisyyttä ja fosforin huuhtoutumisriskiä. Lisäksi päätutkimusalueella, Pyhäjärven valuma-alueella, selvitettiin haastatteluin, mitkä ovat suorakylvön vaikutukset, mitä sosioekonomisia seurauksia siitä. Tutkimus toteutettiin Pyhäjärvi-instituutin / Pyhäjärven suojelurahasto ja MTT:n yhteistyönä. Päärahoittajina olivat Ympäristöministeriö ja Lounais-Suomen ympäristökeskus.

***Pyhäjärvi-instituutti* on täydennyskoulutus-, tutkimus- ja kehittämisyksikkö. Instituuttia ylläpitää säätiö, jonka perustajina on eteläisen Satakunnan kuntia, yrityksiä ja Turun yliopisto. Instituutin päätoimialana on elintarviketalous. Toiminnassa on mukana ympäristönäkökulma.**

Instituutin yhteydessä toimivan *Pyhäjärven suojelurahaston* tavoitteena on lounaisen Suomen suurimman järven rehevöitymiskehityksen pysäyttäminen ja veden laadun parantaminen. Toiminnassa on mukana kuntia, yrityksiä, yhteisöjä ja elinkeinon harjoittajia.

Luettelo Pyhäjärvi-instituutin julkaisuista on takakantta edeltävillä sivuilla.

Ruukinpuisto, 27500 Kauttua (EURA)
Puh. (02) 838 0600, fax (02) 838 0660
Sähköp. p-i@puhajarvi-instituutti.fi
www.pyhajarvi-instituutti.fi

ISBN 952-9682-33-6ISSN 0789-922x

Suorakylvön soveltuvuus käytännön vesiensuojelutyöhön

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO 1
1.1 Maan rakenne ja ravinteiden huuhtoutuminen suorakylvössä 1
1.2 Vesiensuojelun tarve Pyhäjärven valuma-alueella 5

2 HANKKEEN TAVOITE 7

3 MAAPERÄ- JA KUORMITUSTUTKIMUS 9
3.1 Aineisto ja menetelmät 9
3.1.1 Tutkimuslohkot 9
3.1.2 Näytteenotto, mittaukset ja mallitus 15
3.1.3 Aineiston tilastollinen käsittely 20
3.2 Tulokset ja tulosten tarkastelu 20
3.2.1 Maan rakenne ja veden kulkeutuminen 20
3.2.2 Lierojen määrä ja lajijakauma 29
3.2.3 Salaojien toimivuus suorakylvetyssä maassa 33
3.2.4 Valuntasuhteet sadesimuloinnissa 34
3.2.5 Eroosio sadesimuloinnissa 36
3.2.6 Maaperän fosfori 40
3.2.7 Fosforin kulkeutuminen sadesimuloinnissa 47
3.3 Yleinen tulosten tarkastelu 54

4. VILJELIJÖIDEN HAASTATTELUTUTKIMUS 60
4.1. Tutkimusalue ja menetelmät 60
4.1.1. Taustatietoa tiloista 60
4.2. Tulokset 62
4.2.1. Suorakylvöön siirtymisen ja siirtymättömyyden syyt 62
4.2.2. Suorakylväjien konekanta 63
4.2.3. Arviot suorakylvöstä 63
4.3. Haastattelututkimuksen tulosten tarkastelu 67

5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET 69
5.1. Johtopäätökset 69

VIITTEET 73

1 Johdanto

Suorakylvössä kasvusto perustetaan edellisen kasvuston sänkeen ilman kylvöä edeltävää muokkausta. Suomessa kuten muuallakin suorakylvöllä tavoitellaan kustannus- ja aikasäästöä tilakoon kasvaessa. Myös suorakylvön vaikutus maan rakenteeseen ja peltoviljelyn aiheuttamaan ympäristökuormitukseen kiinnostaa kuitenkin sekä viljelijöitä että hallintoa. Vuonna 2002 Suomen suorakylvöalaksi arvioitiin 30 000 ha ja vuonna 2003 jo 50 000 – 100 000 ha. Siirryttäessä 2000-luvulle koko maailmassa arvioitiin suorakylvettävän 72 miljoonaa hehtaaria.

Tarve keventää muokkausta on lähtöisin Suomeen verrattuna hyvin erilaiselta ilmastolliselta alueelta. Yhdysvaltojen ja Etelä-Amerikan kuivilla alueilla kevennettyyn muokkaukseen ja suorakylvöön siirtymisen tavoitteena on ollut lisätä kasvipeitteisyyttä ja sitä kautta parantaa maan vedenpidätyskykyä ja vähentää rajujen sadekuurojen aiheuttamaa eroosiota. Muokkauksen keventämisen tai suorakylvön tavoitteet ja edellytykset ovat ainakin osittain erilaiset Skandinaviassa. Meidän kosteassa ilmastossamme vuoteen sisältyy kylmä kausi ja vettä sataa potentiaalista haihduntaa enemmän. Maan märkyys on useimmiten suurempi haitta kuin kuivuus, vaikka kuivuus voi toisinaan haitata kasvien kasvua merkittävästi. Niinpä ulkomaalaisen tutkimustiedon perusteella ei voida suoraan arvioida esimerkiksi suorakylvön ympäristövaikutuksia Suomen oloissa. Kotimaisia tutkimustuloksia suorakylvön vaikutuksesta peltoviljelyn ympäristökuormitukseen on kuitenkin toistaiseksi vain vähän käytettävissä.

1.1 Maan rakenne ja ravinteiden huuhtoutuminen suorakylvössä

Fosfori on tärkein sisävesistöjä ja rannikkovesiä kuormittava ravinne. Koska noin 60 % vesiin tulevasta rehevöittävästä fosforikuormasta on peräisin maatalousalueilta (Valpasvuo-Jaatinen ym., 1997), on fosforikuormituksen

vähentämiseksi kohdistettava huomio pelloilla tehtäviin toimenpiteisiin. Etenkin eteläisessä Suomessa on pyrittävä ottamaan käyttöön sellaisia viljelytoimenpiteitä, jotka vähentävät valumaveden sisältämässä eroosioaineksessa ja vedessä liuenneena kulkeutuvan fosforin pitoisuutta.

Maan jättäminen syksyllä sängelle ja syysviljojen viljely sisältyvät maatalouden ympäristötuen lisätoimenpiteisiin, joiden tarkoituksena on lisätä peltojen talviaikaista kasvipeitteisyyttä ja sitä kautta vähentää eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista (Ympäristötukiopas, 2000). Molemmissa tapauksissa kasvusto voidaan perustaa ilman muokkausta suoraan sänkeen eli suorakylvää. Viljelijöiden kiinnostus suorakylvöön siirtymiseen on kasvanut selvästi mm. siksi, että se vähentää työmenekkiä. Vaikka suorakylvön vesistövaikutuksia ei Suomessa ole juurikaan tutkittu, menetelmä on jo nyt herättänyt kiinnostusta käytännön vesiensuojelutyötä tekevien parissa. Osa viljelijöistä perustelee suorakylvöön siirtymistään myös positiivisilla vesistövaikutuksilla.

Fosforikuormituksen vähentämisen kannalta suorakylvö vaikuttaa lupaavalta, sillä siinä pelto jää talvikaudeksi sängelle, mikä jo yksinään on omiaan vähentämään maanpinnan eroosiota syksyn ja kevään välisenä aikana (Turtola & Lemola, 2000). Suorakylvö täyttää siten kasvipeitteisyysvaatimuksen, etenkin kun tällä hetkellä hyväksytään myös vähemmän kasvipeitteisyyttä tai enemmän maan muokkaamista sisältäviä kasvipeitteisyysvaihtoehtoja (syyskultivoitu tai syysviljalle kylvetty muokattu pelto). Muokkauksen madaltaminen on toisaalta omiaan kerryttämään fosforia maan pintakerrokseen, sillä käyttämättä jäävä lannoitefosfori ja suuri osa kasvinjätteiden fosforista sekoittuu muokattavaan kerrokseen, joka on aikaisempaa kyntökerrosta ohuempi. Fosforin rikastuminen pintaan ei kuitenkaan välttämättä näy esimerkiksi viljavuustutkimuksessa, jos maanäytteet otetaan koko aikaisemmasta kyntökerroksesta.

Muokattaessa maan luontainen rakenne rikotaan. Muokatun maan rakenne on epästabiili ja tuoreista leikkauspinnoista liukenee saveshiukkasia maahuokosten veteen. Vaikka Suomessa hyvin rankat sateet ovat harvinaisia, pitkät sadejaksot ja maan pysyminen muokkauksen jälkeen pitkään märkänä aiheuttavat viettävillä pelloilla erittäin runsasta eroosiota aikaisemmin syksyllä muokatusta maasta. Norjalaisissa tutkimuksissa yhdestä neljään vuotta kestänyt suorakylvö on hiue- ja savimailla vähentänyt pintavalunnan tuomaa eroosiota 4-85 % ja kokonaisfosforikuormitusta 11-89 % (Skøien, 1988, Børresen & Uhlen, 1991, Skøien ym., 1995, Lundekvam, 1998). Suorakylvössä maan jättäminen muokkaamatta syksyllä turvaa sen, että kesän kuluessa lujittuneen pintamaan mururakenne säilyy häiriintymättömänä samalla kun sänki ja olki suojaavat

maan pintaa mekaanisesti. Lisäksi pintamaahan kertyvä eloperäinen aines voi vähitellen muuttaa maan mururakennetta lisäten sen kestävyyttä.

Eroosioaineksen kuljettaman fosforin lisäksi maasta veteen liukenevalla fosforilla on suuri merkitys vesien kuormituksen kannalta. Kun tutkimusten mukaan ehkä vain noin kymmenesosa maahiukkasten sisältämästä fosforista on lyhyellä aikavälillä vesistöjä rehevöittävää (Uusitalo & Ekholm, 2003), on liuennut ortofosfaattifosfori täysin leville käyttökelpoista (mm. Ekholm, 1994). Tutkimukset myös osoittavat, että pintavalunta tai pinnalta syvemmälle imeytyvä valunta sisältää sitä enemmän liukoista fosforia, mitä suurempi on maan pintakerroksen helppoliukoisen fosforin pitoisuus (Heckrath ym., 1995, Pote ym., 1996, Turtola & Yli-Halla, 1999). Norjalaisissa tutkimuksissa suorakylvö lisäsi pintavaluntaa jopa kaksinkertaiseksi ja ei joko vaikuttanut liuenneen fosforin kuormitukseen tai lisäsi sitä 31-55 % (Skøien, 1988, Børresen & Uhlen, 1991, Skøien ym., 1995). Tämän vuoksi suorakylvetyn maan osalta on olennaista, millaiseksi muodostuu maan pintakerroksen helppoliukoisen fosforin pitoisuus ja kuinka hyvin maan pintakerros läpäisee vettä.

Suorakylvettäessä maan rakenteen vedenläpäisevyys ja ojaston tehokas toiminta ovat keskeisiä viljelyn onnistumiseksi ja pintavalunnan vähentämiseksi. Kun maata muokataan, siihen muodostuu suuria huokosia ja maan pinnan epätasaisuus lisääntyy. Nämä muutokset muokkauskerroksessa lisäävät veden imeytymistä maahan ja sen hetkellistä veden varastointikykyä, mikä vähentää pintavaluntaa. Suorakylvössä maata ei muokata ja pintavalunta voi lisääntyä kynnettyyn maahan verrattuna. Suomessa etenkin jäykemmillä savimailla pintavalunnan on havaittu kasvavan kyntöön verrattuna, kun maa jätetään sängelle tai se kultivoidaan syksyllä alle 10 cm syvyyteen (Turtola & Lemola, 2000, Turtola ym., 2003). Myös nurmiviljelyn on joissakin tapauksissa lisännyt pintavaluntaa (Turtola & Jaakkola, 1995, Turtola & Kemppainen, 1998).

Suorakylvetyn maan huokostoa ja vedenliikkeitä siinä ei juuri ole tutkittu Suomessa. Sen sijaan kevennetyn muokkauksen tiedetään vaikuttavan maan makrohuokostoon ja sen jatkuvuuteen. Nämä tekijät ratkaisevat pintavalunnan muodostumisen maan ollessa märkää. Kriittisimpiä ajankohta ovat kevään ja syksyn valuntahuiput, jolloin maa on yleensä Suomessa märkää. Auran (1999) mukaan syyskynnetyn sekä syksyllä sängelle jätetyn ja keväällä matalaan jyrsityn hiuesavimaan makrohuokostojen tilavuuserot olivat pieniä 0–40 cm:n syvyydessä. Kynnetyn savimaan makrohuokosto oli ruokamultakerroksessa (Tiiri, 1991, Alakukku, 1998, Alakukku ym., 2001) ja jankossa (Tiiri, 1991) suurempi kuin sänkimuokatun maan. Sänkimuokatussa maassa juuristo kasvoi

syvälle nopeammin kuin kynnetyssä maassa. Tämä saattoi johtua siitä, että kevyesti muokatussa ruuduissa makrohuokoset olivat pohjamaassa jatkuvampia kuin kynnetyissä ruuduissa.

Huokosten jatkuvuus on tärkeää, jotta vesi imeytyy nopeasti märkään maahan ja kulkeutuu syvempiin kerroksiin. Auran (1987) mukaan kaksi vuotta suorakylvetyn savimaan kyllästetyn maan vedenjohtavuus oli 0-45 cm:ssa pienempi kuin kynnetyn maan mutta suurempi kuin pintaäestetyn maan. Sänkimuokatun savimaan vedenjohtavuus oli ruokamultakerroksessa pienempi kuin kynnetyn maan 5-10 koevuoden jälkeen (Pitkänen & Nuutinen, 1995, Alakukku, 1998, Alakukku ym., 2001). Kevytmuokatussa maassa syvälle ulottuvien jatkuvien lierokäytävien on todettu kuitenkin nopeuttavan selvästi maan vedenjohtavuutta pinta- ja pohjamaan välillä (Riley ym., 1994, Pitkänen & Nuutinen, 1998), mikä edesauttaa veden kulkeutumista syvälle maahan.

Maan muokkausintensiteeti vaikuttaa monin tavoin viljelymaan eliöstöön (Wardle, 1995). Vaikutuksista tunnetuimpia ovat muokkausmenetelmien väliset erot lieroyhteisöissä (Chan, 2001). Kynnetyssä maassa ovat vallitsevina pintamaassa kaivautuvat ns. endogeeiset lierot, Suomessa erityisesti peltoliero (*Aporrectodea caliginosa* Sav.). Kynnön korvaaminen kevyemmällä muokkauksella tai siirtyminen suorakylvöön johtaa maan pinnan korjuutähdettä hyödyntävien sekä syvissä, pysyvissä käytävissä elävien lierolajien elinolojen paranemiseen. Usein näiden lajien kannat kasvavat kynnöstä luopumisen myötä. Suomen oloissa erityisesti kastelieron (*Lumbricus terrestris* L.) on havaittu hyötyneen kevennetystä muokkauksesta (esim. Nuutinen, 1992). Ensimmäisessä suomalaisessa suorakylvön lieroyhteisövaikutuksia koskevassa selvityksessä lierojen kokonaiskuivapaino oli suorakylvetyssä savimaassa lähes kuusinkertainen syyskynnettyyn maahan verrattuna (4,6 vs. 0,8 g m^{-2}) (Haukka, julkaisematon). Eron suuruus johtui paljolti juuri kastelierojen suuresta määrästä suorakylvetyssä maassa, joskin myös peltolierot hyötyivät suorakylvöstä.

Viljelymaalta vesistöihin tulevaa kuormitusta ajatellen lieroilla on potentiaalista merkitystä useammalla tavalla. Lierojen käytävät muodostavat maahan suurten ja jatkuvien huokosten verkoston, jota myöten vesi voi imeytyä nopeasti niinsanottuna oikovirtauksena maahan (Edwards & Shipitalo, 1998). Pitkäsen (1993) ja Alakukun (1998) mukaan sänkimuokatussa (työsyvyys 10–15 cm) maassa oli enemmän lierokanavia kuin kynnetyssä (20–25 cm) maassa ruokamultakerroksen pohjassa. Pitkänen & Nuutinen (1998) taas havaitsivat, että varsinkin syviä ja pystysuoria käytäviä kaivavien kastelierojen aktiivisuus lisäsi veden imeytymistä saviseen peltomaahan vähentäen veden pintavaluntaa.

Lierojen lähelle maanpintaa laskemat ulosteet saattavat stabiloida maan pinnan mururakennetta (Tomlin ym., 1995). Toisaalta pintaulosteet voivat rikastaa helppoliukoista, huuhtoutumiselle altista fosforia maan pinnalle (Sharpley & Syers, 1976). Lierot keräävät ja hautaavat maan pinnalle suorakylvössä kertyvää korjuutähdettä ja vaikuttavat hajoavan eloperäisen aineksen sijaintiin pellon pinnalla ja maaprofiilissa (Subler & Kirsch, 1998). Korjuutähteen hautaaminen suorakylvetyssä maassa helpottaa käytännön viljelytoimenpiteitä sekä tehostaa korjuutähteen hajoamista ja ravinteiden kiertoa, mutta toisaalta se voi heikentää kasvipeitteen maan pintaa suojaavaa ja stabiloivaa vaikutusta (Shuster ym., 2000).

1.2 Vesiensuojelun tarve Pyhäjärven valuma-alueella

Pyhäjärvi on lounaisen Suomen suurin ja kalataloudellisesti merkittävin järvi. Järvi sijaitsee Euran Säkylän ja Yläneen alueella. Järven valuma-alue ulottuu näiden kuntien lisäksi Oripäähän, Alastarolle ja pieneltä osaltaan myös Pöytyälle.

Vielä 1970-luvulla Pyhäjärven veden laatu luokiteltiin erinomaiseksi. Pyhäjärveen on kuitenkin tullut vuosikymmeniä liikaa ravinteita ja 1990-luvulla järven rehevöityminen eteni pitkin harppauksin (Mattila ym., 2001, Sarvala ym., 2002). 1990-luvun lopulla. 2000-luvulla rehevöitymiskehitys näyttää hidastuneen. Pyhäjärvellä on toteutettu satoja erilaisia suojelutoimenpiteitä ja kunnat, teollisuus ja järjestöt rahoittavat vapaaehtoisesti Pyhäjärven suojelutyötä. Suojelutyön käytännön toimista vastaa Pyhäjärven suojelurahasto, jonka toimipiste sijaitsee Pyhäjärvi-instituutissa Eurassa.

Tärkein keino Pyhäjärven rehevöitymiskehityksen pysäyttämisessä on valuma-alueelta järveen tulevan fosfori- ja kiintoainekuormituksen selvä pienentäminen. Tällä hetkellä käytössä olevia keinoja valuma-alueelta tulevan kuormituksen vähentämiseen ovat mm. haja-asutuksen jätevesienkäsittelyn tehostaminen sekä laskeutusaltaiden, kosteikkojen ja erilaisten suodattimien rakentaminen (Mattila ym., 2001).

Vaikka valuma-alueelle rakennetut vesiensuojelutoimenpiteet toimivat pääosin hyvin ja valumavesistä pystytään pidättämään osa fosforista ja kiintoaineesta ennen kuin ne päätyvät järveen (Kirkkala & Ventelä, 2002), olisi erittäin tärkeää pystyä puuttumaan myös pellolta tulevan ravinnekuormituksen määrään ja ehkäistä sen syntymistä. Tämän tavoitteen saavuttamisessa keskeisenä asiana on hyvä maan rakenne. Hyvärakenteiseen maahan vesi imeytyy nopeasti ja sen

mururakenne on kestää veden liettävää vaikutusta. Maan rakenteeseen pystytään vaikuttamaan viljelymenetelmillä, kuten suorakylvöllä.

Pyhäjärven valuma-alueella suorakylvöä on harjoitettu kauemmin kuin missään muualla Suomessa, lähes 20 vuotta. Suorakylvön pioneerit ovat omatoimisesti selvittäneet suorakylvön tekniikkaan ja ympäristövaikutuksiin liittyviä asioita ja siten edistäneet suorakylvön leviämistä sekä alueellisesti että valtakunnallisesti. Hengenheimolaisia ei Suomesta etenkään alkuvuosina helposti löytynyt ja tietoa on jouduttu hakemaan ulkomailta. Ulkomaalaisten tutkimusten (Tebrügge & Düring, 1999, Reicosky 2000, 2002) mukaan suorakylvön ympäristöhyödyt ovat merkittävät ja monissa maissa *'conservation agriculture'* on yksi tärkeimmistä vesiensuojelun välineistä. Suomalaisten maaperätutkijoiden mukaan ulkomaalaiset tutkimukset eivät ole täysin suoraan sovellettavissa Suomen oloihin ja tämän hankkeen alkaessa vastaavia suomalaisia tutkimuksia ei ollut käynnissä.

Pyhäjoen ja Yläneenjoen valuma-alueiden viljelijät ovat lisääntyvässä määrin kiinnostuneita suorakylvöstä. Rahastolle on esitetty, että Pyhäjoen ja Yläneenjoen alueet toimisivat suorakylvön vesiensuojelullisena koealueena, jossa kuormituksen kannalta mitattavissa olevat osa valuma-alueet olisivat suorakylvön piirissä. Tämä voitaisiin todennäköisesti toteuttaa alueella jo olemassa olevalla konekannalla.

2 Hankkeen tavoite

Suorakylvöön siirtymisen vaikutusta maan rakenteeseen, veden liikkeisiin, eroosioherkkyyteen, fosforin kertymiseen ja huuhtoutumiseen sekä lierojen määrään ei ole Suomen oloissa tutkittu yhtäaikaa samassa tutkimuksessa. Nämä seikat vaikuttavat keskeisesti suorakylvön merkitykseen vesistöjen fosforikuormituksen kannalta. Tässä esiselvityksessä tutkittiin pitkään suorakylvetyillä pelloilla, miten suorakylvö muutti maan rakennetta, eroosiota, pintavalunnan todennäköisyyttä ja fosforin huuhtoutumisriskiä. Verranteena oli kynnetty maa. Pellot olivat pääosin yksityisten viljelijöiden lohkoja, jotta voitaisiin tarkastella käytännön mittakaavassa tehdyn suorakylvön vaikutusta maan ominaisuuksiin. Tavoitteena oli samalla myös kartoittaa tutkimustarpeita sekä suorakylvömenetelmän kehittämistarpeita.

Suorakylvön mahdolliset myönteiset ympäristövaikutukset ovat tehokkaimmat, kun valuma-alueen pelloista valtaosa on suorakylvössä. Suorakylvöön siirtyminen voi myös lisätä viljelijöiden välistä yhteistyötä, jos koneinvestoinnit tehdään yhteishankintana tai jos osa viljelijöistä ostaa kylvötyön urakointipalveluna. Pyhäjärven suojelurahastolle on jo vuosia tullut pyyntöjä suorakylvöasian edistämiseksi Pyhäjärven valuma-alueella ja viime aikoina myös suorakylvöä koskevat vesiensuojeluavustushakemukset ovat yleistyneet. Avustuksia on haettu mm. suorakylvökoneiden hankintaa. Tässä hankkeessa haluttiin konkreettisesti vastauksia siihen kysymykseen, miten suorakylvö soveltuu käytännön vesiensuojelutyövälineeksi. Hankkeeseen sisältyvillä viljelijähaastatteluilla haluttiin selvittää alustavasti, miten koko alueen (Pyhäjärven valuma-alueen) suorakylvöön siirtyminen käytännössä voisi onnistua ja mitä sosioekonomisia seurauksia siitä olisi. Yhdessä esiselvityksestä saadun ja muun tiedon kanssa tuloksia käytettiin jatkotoimien määrittämiseen.

Esiselvityksen yksilöidyt tavoitteet olivat:

1) arvioida, miten suorakylvö vaikuttaa pintavalunnan todennäköisyyteen sekä eroosioon ja fosforin huuhtoutumisriskiin
2) verrata suorakylvetyn ja kynnetyn maan makrohuokoston määrää ja rakennetta sekä veden virtausta makrohuokostossa
3) määrittää suorakylvetyn maan eroosioherkkyys
4) selvittää fosforin kerrostumista suorakylvetyssä maassa ja sen vaikutusta fosforin huuhtoutumisriskiin

5) selvittää suorakylvön vaikutusta lierolajistoon, lierojen määrään ja niiden merkitystä suorakylvetyn maan huokoistumiselle
6) selvittää suorakylvöön siirtymisen sosioekonomisia vaikutuksia, käytännön kohteena Pyhäjärven valuma-alue.

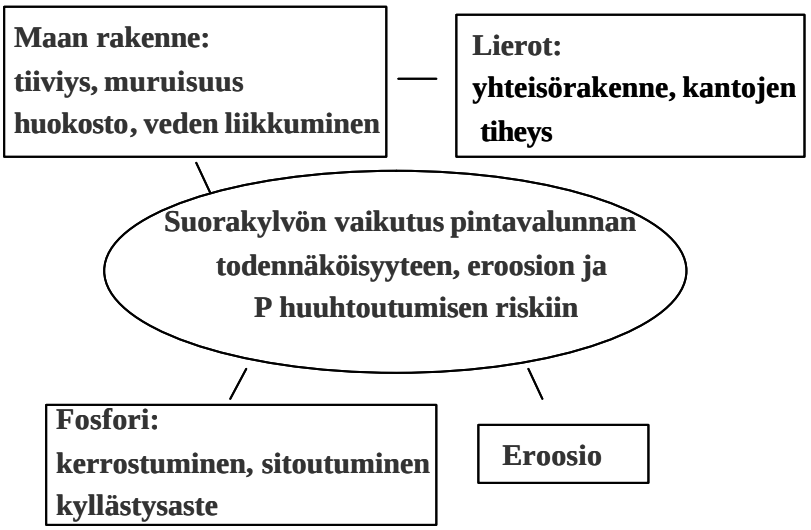
3 Maaperä- ja kuormitustutkimus

3.1 Aineisto ja menetelmät

3.1.1 Tutkimuslohkot

Hankkeessa tutkittiin neljää viljanviljelyssä ollutta lohkoparia. Niistä kolme valittiin Pyhäjärven valuma-alueelta. Neljäs pari oli Suomen ympäristökeskuksen pintavaluntakentällä Aurajoen varressa. Kentillä tutkittiin suorakylvöön siirtymisen aiheuttamia muutoksia maan ominaisuuksissa ja niiden vaikutusta eroosioon ja fosforin huuhtoutumiseen (Kuva 3.1).

Lohkoparien valinta ja mittauspisteet
Lohkoparit muodostuivat lohkoista, joista toista oli suorakylvetty yhtäjaksoisesti vähintään viisi vuotta ja toista oli samaan aikaan kynnetty. Lohkoparissa 3 verranne kynnettiin keväällä, muissa pareissa syksyllä. Lohkoilla 1-3 viljeltiin pääasiassa kevätviljoja, mutta lohko 4 oli koko koejakson syysviljanviljelyssä.

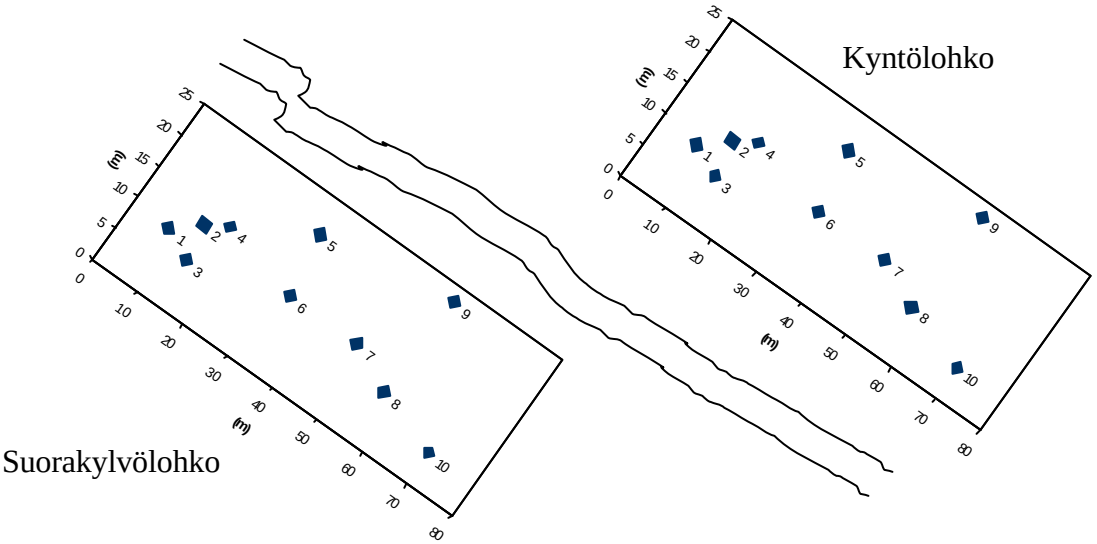


Kuva 3.1 Kenttätutkimuksessa selvitettiin fosforin kertymistä ja maan rakennetta suorakylvetyssä maassa sekä näiden tekijöiden vaikutusta eroosioon ja fosforin huuhtoutumiseen.

Lohkot valittiin niin, että parit olivat mahdollisimman lähellä toisiaan. Lohkojen välissä oli yleensä vain oja ja ne olivat pinnanmuodoiltaan samanlaisia (Kuva 3.2). Lohkot olivat salaojitettuja lukuun ottamatta parin 3 kynnettyä lohkoa. Viljelijöiltä saatujen tietojen perusteella viljavuustutkimuksessa määritetty ruokamultakerroksen maalaji, pH ja fosforiluku olivat hyvin samanlainen lohkoparin sisällä.

Lohkoparien valintaa hankaloitti se, että Pyhäjärven alueella viljellään paljon riviviljelykasveja ja pitkään viljanviljelyssä olleita kynnettäviä lohkoja on vähän. Niinpä pitkään suorakylvettyjen lohkojen naapurista ei aina löytynyt isoa viljanviljelyssä ollutta lohkoa ja kahdessa tapauksessa kynnetty lohko valittiin viljalla olleesta sokerijuurikaslohkon reuna-alueesta (lohkot 2 ja 3).

Viljelijöiden oman arvion mukaan lohkoilla ei ollut maan rakenneongelmia. Lohkot 1-3 olivat tasaisia, mutta lohkon 4 kaltevuus oli 8-9 %. Kultakin lohkolta valittiin suorakaiteen muotoinen alue mittauksiin ja näytteenottoon. Lohkoparin 1 alue oli kooltaan 25x70 m^2, lohkoparien 2 ja 3 koko oli 20x30 m^2 ja lohkoparin 4 koko 12x35 m^2. Lohkoparia 1 lukuun ottamatta alueen kokoa rajoitti joko kyntölohkon pienuus (lohkot 2 ja 3) tai molempien lohkojen pieni koko (lohko 4). Kuvassa 3.2 esitetyt mittaus- ja näytteenottokohdat (1-10) valittiin satunnaislukutaulukkoa käyttäen.

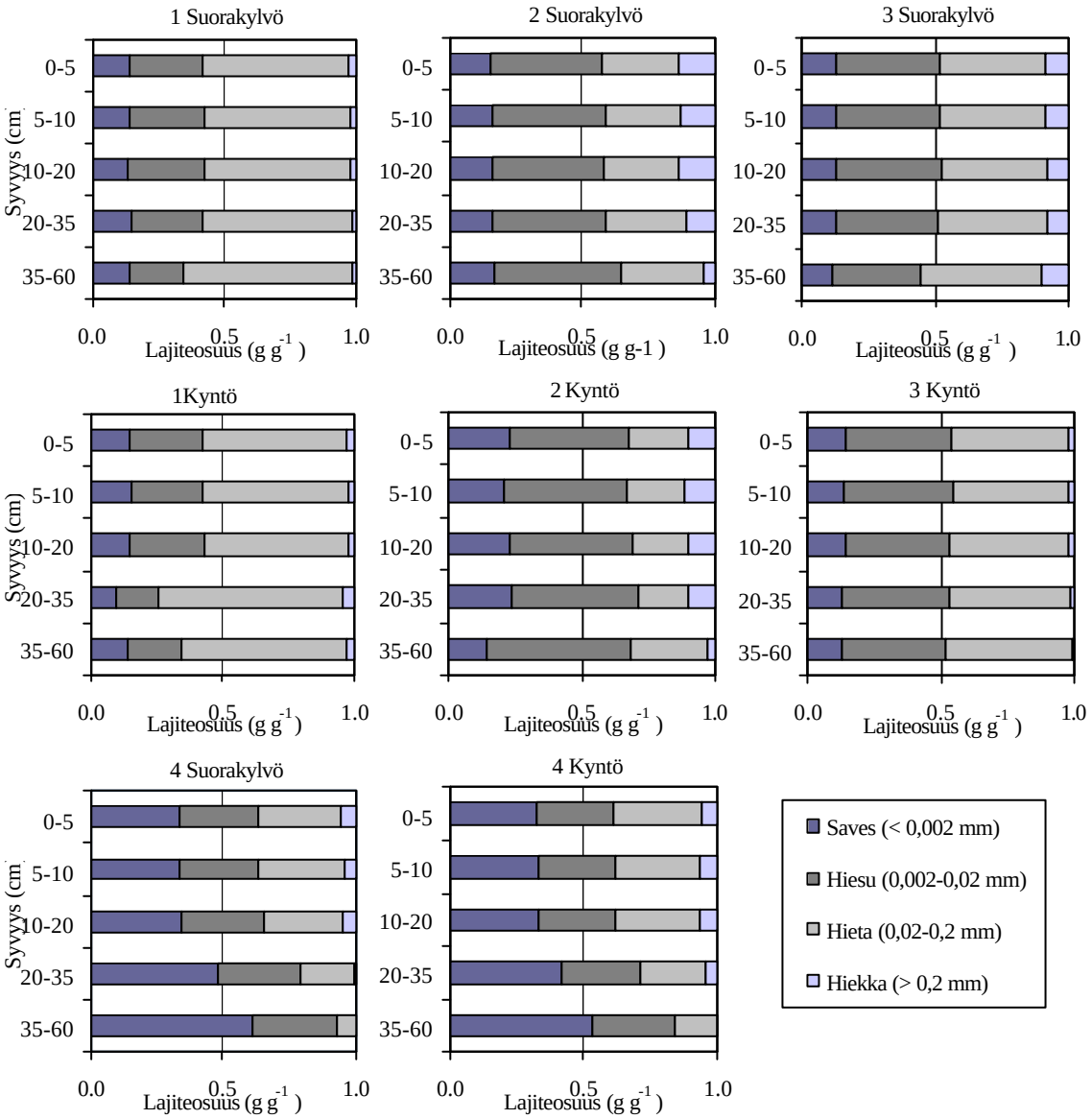


Kuva 3.2 Esimerkki lohkoparien sijainnista ja mittaus- ja näytteenottokohtien (1-10) sijoittumisesta koealueelle. Jokaisessa kohdassa mittaus- ja näytteenottoalue oli kolme neliömetriä.

Lohkojen maalaji ja viljavuus

Lohkojen ollessa sängellä niiltä otettiin näytteet kohdista 1,3,5,7 ja 9 (Kuva 3.2) eri kerrosten maalajin ja viljavuuden määrittämiseksi. Näytteet yhdistettiin kerroksittain. Maasta määritettiin kivennäisaineksen lajitekoostumus pipettimenetelmällä (Elonen, 1971), maan orgaanisen hiilen pitoisuus LECO laitteella kuivapolttomenetelmällä (Sippola, 1982), pH vesiliuoksessa (1:2,5), johtoluku ja helppoliukoisen fosforin ja vaihtuvan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuus ammoniumasetaattiuutolla (pH 4,65; Vuorinen & Mäkitie, 1955).

Lohkojen kivennäisaineksen lajitejakauma eri kerroksissa on esitetty Kuvassa 3.3. Kivennäisaineksen lajitekoostumukseltaan vierekkäiset lohkot olivat lähellä tosiaan, mutta eri lohkoparit erosivat toisistaan merkittävästi. Lohkopari 1 oli hiesuista hienohietamaata. Suorakylvetyn maan karkean hiedan osuus kasvoi 35 cm syvemmällä ja kynnetyn 20 cm:stä lähtien. Suorakylvetty lohko 2 oli hiuemaata. Kynnetyn alueen maalaji oli 0-35 cm:ssä savinen hiue (hiesua 0,46 g g^{-1}) ja sitä syvemmällä hietainen hiesu (Kuva 3.3). Lohkopari 3 oli hietaista hiuemaata. Suorakylvetyn maan karkean hiedan ja sitä karkeampien lajitteiden osuus jakaumasta oli kuitenkin suurempi kuin kynnetyssä maassa. Molemmilla lohkoilla karkean hiedan osuus suureni 35 cm syvemmällä. Lohkopari 4 oli 0-35 cm:ssä hiuesavea ja sitä syvemmällä hiesusavea tai aitosavea (Kuva 3.3).



Kuva 3.3 Lohkoparien (1-4) maan kivennäisaineksen lajitekoostumus 0-60 cm:n syvyydessä. Värien selityksessä on suluissa esitetty lajitteiden hiukkaskoko.

Taulukossa 3.1 esitetään lohkoparien maan orgaanisen hiilen pitoisuus, happamuus, johtoluku ja viljavuustutkimuksen menetelmin määritetty liukoisten ravinteiden pitoisuus. Lohkojen viljavuus luokiteltiin viljavuustutkimuksen tulkintaopasta käyttäen. Lohkoparit 1 ja 2 olivat multavia 0-20 cm:n kerroksessa (Taulukko 3.1). Lohkoparin 3 kynnetty lohko oli vähämultainen, mutta suorakylvetyn lohkon pintamaa (0-10 cm) oli multava. Lohkolla 4 maa oli pintakerrosta lukuun ottamatta vähämultaista (Taulukko 3.1).

Taulukko 3.1 Lohkoparien orgaanisen hiilen pitoisuus (OC), happamuus (pH), helppoliukoisen fosforin (P) sekä vaihtuvan kaliumin (K), kalsiumin (Ca) ja magnesiumin (Mg) pitoisuus 0-60 cm:n syvyydessä. Lukujen perään on merkitty kirjaimella viljavuustutkimuksen tulkinta ruokamultakerroksessa (0-20 cm). HL, huononlainen; V, välttävä; T, tyydyttävä; H, hyvä; K, korkea ja A, arveluttavan korkea (Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä, 1995). S, suorakylvö, K, kyntö.

Mittaus,	Lohko 1		Lohko 2		Lohko 3		Lohko 4	
maakerros (cm)	S	K	S	K	S	K	S	K
OC (g g^{-1})								
0-5	0,0237	0,0280	0,0268	0,0237	0,0258	0,0150	0,0197	0,0179
5-10	0,0213	0,0270	0,0249	0,0248	0,0200	0,0153	0,0156	0,0173
10-20	0,0227	0,0280	0,0227	0,0243	0,0165	0,0149	0,0161	0,0184
20-35	0,0125	0,0057	0,0148	0,0232	0,0153	0,0092	0,0070	0,0102
35-60	0,0023	0,0068	0,0029	0,0029	0,0056	0,0035	0,0055	0,0059
pH$_{vesi}$ (1:2,5)								
0-5	6,67 K	6,23 H	7,09 A	6,06 T	6,89 K	6,63 H	5,86 V	6,18 T
5-10	6,80 K	6,34 H	7,35 A	6,03 T	6,74 K	6,74 K	6,31 T	6,13 T
10-20	6,90 K	6,44 H	7,48 A	6,07 T	6,73 K	6,77 K	6,23 V	6,16 T
20-35	6,72	6,53	7,72	6,16	6,79	6,41	6,74	6,57
35-60	6,14	6,59	7,95	6,96	6,82	5,68	7,17	7,27
P (mg lmaata^{-1})								
0-5	25 H	16 T	152 A	11 V	69 A	17 T	19 H	18 H
5-10	21 H	14 T	147 A	11 V	59 A	19 H	17 H	16 H
10-20	21 H	14 T	152 A	11 V	60 A	19 H	19 H	18 H
20-35	9,0	3,8	91	9,3	40	5,8	4,1	9,9
35-60	2,5	3,4	2,1	0,5	5,5	1,6	4,1	3,7
K (mg lmaata^{-1})								
0-5	276 H	173 T	242 H	78 V	312 H	156 T	376 H	342 H
5-10	134 T	108 V	113 V	65 V	222 H	97 V	257 T	230 T
10-20	116 V	157 T	74 V	76 V	172 T	110 V	206 T	263 T
20-35	126	83	65	74	106	78	195	223
35-60	64	75	94	60	59	32	200	198
Ca (mg lmaata^{-1})								
0-5	2037 H	1817 T	3211 K	2208 H	2252 H	1795 T	1563 V	1761 V
5-10	2140 H	1844 T	3565 K	2174 H	1987 H	1827 T	1936 V	1784 V
10-20	2166 H	1872 T	3906 K	2185 H	2006 H	1905 T	1961 V	1758 V
20-35	1660	1451	3692	2229	1849	1315	2119	1878
35-60	1247	1583	3284	2026	1103	813	1712	1756
Mg (mg lmaata^{-1})								
0-5	74 HL	71 HL	132 T	229 H	210 H	125 T	276 T	298 T
5-10	67 HL	70 HL	124 T	226 H	185 T	127 T	320 T	297 T
10-20	67 HL	72 HL	126 T	232 H	196 T	133 T	360 T	304 T
20-35	79	239	159	251	186	103	893	680
35-60	193	293	363	385	153	85	1254	1283

Lohkoparia 1 lukuun ottamatta suorakylvetyn maan orgaanisen hiilen pitoisuus oli 0-5 cm:ssä suurempi kuin kynnetyn maan (Taulukko 3.1). Suorakylvetyssä maassa pitoisuus pieneni jo ruokamultakerroksessa pintaan verrattuna, mutta kynnettäessä se oli sama koko muokkauskerroksessa (0-20 cm). Lohkopareilla 2 ja 4 orgaanisen hiilen pitoisuus oli kynnetyssä maassa suurempi 20-35 cm:ssä kuin suorakylvetyssä (Taulukko 3.1). Lisäksi lohkolle 2 oli ajettu ojamaata, mikä saattoi osaltaan syventää ruokamultakerrosta. Toisaalta suorakylvö lohkolla 2 oli tehty maansiirtotöitä ja sitä oli kynnetty 30 cm:iin ainakin kerran ennen suorakylvöön siirtymistä, millä voi olla vastaava vaikutus.

Lohkojen pH oli vähintään välttävä (Taulukko 3.1). Lohkoparin 2 suorakylvetyn lohkon pH oli arveluttavan korkea, mutta kynnetyn lohkon tyydyttävä. Syytä näin merkittävään eroon ei käytettävissä olevan tiedon perusteella voida sanoa.

Lukuun ottamatta lohkoparia 4 parien sisällä oli eroja lohkojen maan liukoisen fosforin pitoisuudessa (Taulukko 3.1). Lohkoparien 2 ja 3 suorakylvetyn maan fosforiluku oli arveluttavan korkea (> 50 mg l maata^{-1}) jopa 35 cm:iin asti. Näin suuri ero lohkojen P-luvussa oli odottamaton tulos, sillä aiemman tiedon perusteella lohkoparien 2 ja 3 molempien lohkojen P-luku samoin kuin parin 2 lohkojen pH olivat samaa suuruusluokkaa. Taulukossa 3.1 esitettyjen määritysten erot johtuivat ilmeisesti siitä, että aikaisemmat viljavuustutkimukset edustivat koko kynnettyä lohkoa ja tässä näytteet otettiin lohkon reuna-alueelta.

3.1.2 Näytteenotto, mittaukset ja mallitus

Kentiltä tehtiin mittauksia ja otettiin näytteitä laboratoriomäärityksiin kuvassa 3.2 esitetyistä kohdista 1-10. Jokaisessa kohdassa oli n. 3 m^2:n mittaus- ja näytteenottoalue. Pyhäjärven alueella (lohkot 1-3) kentillä operoitiin syksyllä 2002. Aurajoen kentän tutkiminen jouduttiin siirtämään savimaan kuivuuden vuoksi kevääseen 2003.

Veden imeytyminen ja lierot kentällä

Kentällä mitattiin veden imeytyminen maahan (infiltraatio) ja kerättiin näytteet lieromäärityksiin. Infiltraatio mitattiin kohdista 1,3,5,7 ja 9 ja lierot määritettiin kohdista 1-9 (Kuva 3.2). Taulukossa 3.2 on esitetty keskimääräinen pintamaan

Taulukko 3.2 Keskimääräinen maan lämpötila (0-5 cm) ja kosteus (0-15 cm) kenttämittausten aikana syksyllä 2002 ja keväällä 2003. Lohkot olivat kenttämittauksia tehtäessä sänkenä. S, suorakylvö, K, kyntö.

	Pari 1 11.10.		Pari 2, 9.10.		Pari 3, 10.10.		Pari 4. 7.5.	
Mittaus, ka	S	K	S	K	S	K	S	K
Maan lämpötila (ºC)	3,9	2,3	2,2	2,5	3,6	1,6	11,8	8,7
Maan kosteus (m^3 m^{-3})	0,33	0,31	0,34	0,31	0,33	0,34	0,37	0,32

lämpötila ja kosteus kenttämittausten aikana. Syksyllä pintamaa oli kylmää, katteellisissa paikoissa kuitenkin lämpimämpää kuin paljaissa. Erot muokkausmenetelmien välillä olivat pieniä, eivätkä vaikuttaneet parien lohkojen välisiin eroihin. Kaikilla lohkoilla maa oli sopivan kosteaa mittausten tekemiseksi.

Veden imeytyminen maahan mitattiin Smedeman & Rycroftin (1983) ja Auran (1990) kuvaamalla yhden renkaan menetelmällä. Maahan painettiin 10 cm:n syvyyteen halkaisijaltaan 80 cm:n teräsrengas, jonka korkeus oli 30 cm. Renkaassa veden pinta pidettiin vakiokorkeudella (10 cm) maan pinnasta Marionettiputkien avulla (säiliön halkaisija 20 cm ja korkeus 120 cm). Maahan imeytyneen veden määrä aikayksikössä mitattiin. Mittausaika vaihteli infiltraation nopeudesta riippuen välillä 12-59 minuuttia, jona aikana veden imeytymistä seurattiin 1-3 minuutin välein. Tuloksista laskettiin kenttäkyllästetyn maan vedenjohtavuus Darcy'n lain mukaan (Smedema & Rycroft, 1983) ja kumulatiivinen infiltraatio.

Infiltraatio mitattiin kaikilta suorakylvölohkoilta. Lohkoparien 2 ja 4 kynnetyn maan mittaukset eivät onnistuneet, koska niihin vesi imeytyi niin nopeasti, ettei sen pintaa pystytty pitämään vakiona. Lohkolla 4 tämä johtui selvästi veden sivuttaissuuntaisesta virtauksesta kyntökerroksen alaosassa.

Lieromäärityksessä tutkimusmenetelmänä oli yhdistetty kemiallinen näytteenotto ja maanäytteen käsinlajittelu, jolla saadaan kattava kokonaisarvio eri lierolajien runsaudesta (Baker & Lee, 1993). Kemiallisessa näytteenotossa käytettiin sinappiliuosta (Gunn, 1992). Liuosta kaadettiin infiltrometrirenkaalla rajatulle 0,5 m^2:n alalle, jolta oli ennen näytteenottoa leikattu sänki ja rikkakasvit ja poistettu kasvintähteet. Liuosta kaadettiin kolme kertaa 10 l:n määrä, kymmenen minuutin välein. Kaatojen välissä sekä viimeisen kaadon jälkeen pintaan nousseet lierot poimittiin talteen, huuhdottiin vedellä ja säilöttiin 70 %:een etanoliin. Sinappinäytteenotto tehtiin etenkin syvälle kaivautuvien kastelierojen keräämiseksi. Menetelmä on myös varsin tehokas lähellä maan pintaa elävien

epigeeisten lajien keräämisessä. Endogeeisten lajien luotettava runsaudenarviointi edellyttää maanäytteen ottoa. Siksi sinappinäytteenoton päätyttyä 0,5 m^2:n alan keskeltä otettiin lapiolla 20x20x20 cm^3:n suuruinen maanäyte muovipussiin. Näytteen kokoa pidetään riittävänä lierojen runsaudenarvioinnissa (Jopkiewicz, 1993). Maanäytteet kuljetettiin laboratorioon, jossa niitä säilytettiin pimeässä +5 °C:n lämpötilassa. Lierot käsinlajiteltiin maasta ja säilöttiin huuhtelun jälkeen 70 %:een etanoliin. Lierolajit tunnistettiin (Sims & Gerard, 1999, Timm, 1999) ja yksilöiden tuorepaino määritettiin. Sinappi- ja maanäytteiden perusteella laskettiin arvio lierojen kokonaislukumäärälle ja massalle neliömetrillä. Runsaus arvioitiin erikseen myös tärkeimmille lajeille ja lajiryhmille. Neliömetrikohtaiset arviot saatiin jakamalla runsaus sinappi- ja maanäytteissä vastaavalla näytealan koolla ja laskemalla luvut yhteen.

Maan rakenne

Sadesimulaatiota ja maan rakenteen määritystä varten otettiin kultakin lohkolta viisi (paikat 1,3,5,7 ja 9, Kuva 3.2) häiriintymätöntä maanäytettä (halkaisija 15 cm, syvyys 55 cm) Pöyhösen ym. (1997) kuvaamalla traktorisovitteisella kairalla maan kosteuden olleessa lähellä kenttäkapasiteettia. Kynnetyt lohkot muokattiin ennen näytteenottoa. Lohkopareilla 1 ja 2 viljelijä kynti lohkon kenttämittausten jälkeen ja kahdella muulla lohkolla näytteenottokohdat käännettiin lapiolla kyntöä simuloiden 20-23 cm:n syvyyteen. Ennen määrityksiä näytteet säilytettiin kylmiössä +5 °C:n lämpötilassa. Näytteillä tehtiin sadesimulaatiokoe, joka selostetaan myöhemmin.

Simuloinnin jälkeen näytteiden pohjan huokoset avattiin ja näytteet kasteltiin uudelleen alakautta. Profiilin kyllästetyn maan vedenjohtavuus (K_{sat}) määritettiin constant head –menetelmällä (Aura, 1990, Pitkänen & Nuutinen, 1998). Määrityksen jälkeen vapaanvedenpinta laskettiin näytteen pohjan tasolle ja kyllästetystä näytteestä vuorokauden aikana ulosvaluneen veden määrä mitattiin. Veden tilavuus vastaa näytteen makrohuokostilavuutta veden potentiaalin ollessa – 2,4 – 2,7 kPa (halkaisijaltaan > 0,1 mm huokoset). Tämän jälkeen näytteiden pinnalle kaadettiin litra väriainetta (metyleenisini) veden kulkureittien tutkimiseksi.

Värjätyt näytteet katkaistiin kolmeen osaan: kyntökerros (0-20 cm, Lohkolla 4 0-23 cm), jankko (20-35 tai 23-38 cm) ja pohjamaa (35-53 tai 38-53 cm). Leikkauspintojen maan huokoset avattiin murtamalla puukolla näytteen pintaan luontainen mururakenne ja imuroimalla irtonaiset murut pois. Osanäytteiden alapinnalta laskettiin värjäytyneiden ja värjäytymättömien lierokäytävien

lukumäärä ja määritettiin niiden osuus näytteen pohjan pinta-alasta (Alakukku, 1996). Lierokäytäviksi luokiteltiin halkaisijaltaan 2 mm tai sitä suuremmat sylinterinmuotoiset huokoset. Osanäytteistä määritettiin kyllästetyn maan vedenjohtavuus ja makrohuokostilavuus (huokosten halkaisija > 0,3-0,4 mm, veden potentiaali -1 - -0,7 kPa) edellä kerrottuun tapaan. Lohkoilla 1-3 määritykset tehtiin 0-20 ja 20-35 cm:n kerroksista. Lohkon 4 näytteistä määritykset tehtiin myös pohjamaasta (38-53 cm kerros).

Makrohuokosmääritysten jälkeen näytteet halkaistiin pituussuunnassa. Näytteiden pinta murrettiin luonnollisen rakenteen esiin saamiseksi. Pituussuuntaisten näytteiden maan rakenne luokiteltiin visuaalisesti ja tiivistyneiden kerrosten paksuus mitattiin (Alakukku, 1996). Lisäksi tehtiin havainnot väriaineen liikkumisesta profiilissa. Lopuksi näytteet valokuvattiin.

Salaojien toiminnan mallitus

Kyllästetyn maan vedenjohtavuutta 0-53 cm:n kerroksessa ja läpimitaltaan yli 0,1 mm:n huokosten yhteistilavuutta käytettiin laskettaessa salaojaston toimintaa erilaisesti muokatuissa maissa. Laskennan avulla pystyttiin arvioimaan salaojaston toimintaedellytykset ja mahdollinen pintaveden esiintyminen Auran (1990) selostamalla tavalla. Laskennassa käytettiin kynnetyltä tai suorakylvetyltä lohkolta mitattujen K_{sat} ja makrohuokostojen keskiarvoja, joiden oletettiin edustavan keskimääräisesti 0-100 cm:n maakerrosta. Laskelmissa oli oletuksena, että ojaväli oli vakio 16 m, salaojat oli kaivettu metrin syvyyteen ja putkien ympäryssoraa oli käytetty 10 cm:n verran.

Maan fosfori

Maan fosforitilan määrittämiseksi kultakin lohkolta otettiin maanäytteet 0-5, 5-10, 10-20, 20-35 ja 35-60 cm maakerroksista. Näytteet otettiin viljavuusnäytteiden yhteydessä kokoomanäytteistä, jotka edustivat kutakin lohkoa ja maakerrosta. Näytteistä määritettiin viljavuusfosforin (Vuorinen & Mäkitie, 1955) lisäksi fosforin epäorgaaniset ja orgaaniset fraktiot modifioidulla Hedleyn fraktioinnilla (Hedley ym., 1982), fosforin epäorgaaniset fraktiot modifioidulla Changin ja Jacksonin fraktioinnilla (Hartikainen, 1979) ja maan kokonaisfosfori (Bowman, 1988). Samoin määritettiin oksalaattiuuttoisen alumiinin ja raudan pitoisuus (Niskanen, 1989) fosforin kyllästysasteen laskemista varten. Fosforin kyllästysaste maan pintakerroksessa laskettiin jakamalla Changin ja Jacksonin ammoniumfluoridi- ja natriumhydroksidiuuttoisen fosforin summa (? mmol) oksalaattiuuttoisen alumiinin ja raudan summalla (0,5 x ? mmol). Fosforin kyllästysaste arvioitiin erikseen myös aktiivisen alumiinin (P/Al, Mehlich3-uutto, Mehlich, 1984) ja

raudan (P/Fe, sitraatti-askorbaatti-bikarbonaattiuutto, Kostka & Luther, 1994) suhteen.

Sadesimulaatio, eroosio ja fosforikuormitus

Sadesimulaatiossa käytettiin rakenteeltaan häiriintymättömiä maanäytteitä, joiden otto esitettiin edellä maan rakennemääritysten yhteydessä. Ennen simulaatiota näytteen pohjan huokoset avattiin murtamalla maa varovasti veitsellä luontaisia murtopintoja hyväksikäyttäen ja imuroimalla irtonaiset murut näytteen pinnasta pölynimurilla. Samalla näytteen pohjasta laskettiin lierokäytävien lukumäärä. Tämän jälkeen näytteet kasteltiin nostamalla vesi näytteen pintaan alhaalta ylöspäin. Niiden annettiin kostua neljä vuorokautta, minkä jälkeen vedenpinta laskettiin näytteen pohjan tasolle. Näytteestä poistunut vesimäärä mitattiin ja veden kemiallinen laatu määritettiin sadesimuloinnin yhteydessä.

Ennen sadesimulointia lieriöön asennettiin pintavalunnan keräin valuntakerroksen pohjan tasalle. Valuntakerros oli muokkaus- tai kylvösyvyys. Kynnetyssä maassa kerättiin 0-20 cm:n kerroksesta tullut vesi. Suorakylvettäessä kerros oli 0-5 cm. Myös näytteen läpi tullut vesi kerättiin talteen.

Sadesimuloinnissa käytettiin simulaattoria, joka oli kehitetty Bowyer-Bowerin ja Burtin (1989) kuvaaman simulaattorin perusteella (Pitkänen & Nuutinen, 1998). Kostutetut näytteet pantiin sadesimulaattoriin 3 %:n kaltevuuteen. Näytteen yläpinnan etäisyys sadetta muodostavista kapillaariputkista oli 205 cm ja sitä pirstovasta verkosta 150 cm. Sadetuksessa käytettiin deionisoitua vettä. Sadetusaika oli viisi tuntia ja sateen intensiteetti 10 mm h^{-1}. Sadetus vastasi 884 ml:n vesimäärää. Sade oli melko voimakas, sillä Suomen etelä- ja keskiosissa rankkasateeksi luokitellaan 7,0 mm:n sademäärä, joka on satanut 60 minuutin aikana (Ilmatieteen laitos, 2003). Tilastojen mukaan 12 mm h^{-1} sade, joka kestää 60 minuuttia, toistuu Suomessa samalla paikalla keskimäärin joka toinen vuosi.

Simulaattorissa oli neljä satunnaisesti eri lohkoja edustavaa näytettä samanaikaisesti. Sadetuksen aikana rekisteröitiin valunnan alkuun kulunut aika, näytteen pinnalle mahdollisesti kerääntyneen vesikerroksen korkeus sekä mitattiin pintavalunta ja näytteen läpi valunut vesimäärä. Vesimäärä mitattiin niin, että aina 250 ml:n näytepullon täyttymiseen kulunut aika määritettiin. Sadetuksen loputtua mitattiin näytteen pinnan taso lieriön yläreunasta näytteen painumisen selvittämiseksi.

Vesinäytteistä määritettiin liuenneen ortofosfaattifosforin (DRP), kokonaisfosforin (Kok.P), ja eroosioaineksen pitoisuudet Turtolan & Paajasen (1995) kuvaamilla menetelmillä. Partikkelifosforin (Part.P) pitoisuus laskettiin vähentämällä kokonaisfosforin pitoisuudesta liuenneen ortofosfaattifosforin pitoisuus. Fosforikuormitus ja eroosio kussakin simulaatiossa saatiin kertomalla kunkin vesinäytteen pitoisuus kyseisellä valuntamäärällä ja laskemalla yhteen näin saadut kutakin valuntamäärää vastaavat osakuormitukset. Kutakin näytepaikkaa vastaava kuormitus laskettiin viiden simulaation keskiarvona. Näytepaikkaa edustavat valunnan keskimääräiset, valuntapainotteiset pitoisuudet laskettiin jakamalla edellä saatu kuormitus kokonaisvalunnalla. Joistakin näytteistä arvioitiin myös leville käyttökelpoisen fosforin pitoisuutta anioninvaihtohartsimenetelmällä (Uusitalo & Ekholm, 2003) ja bikarbonaatti-ditionaattimenetelmällä (Uusitalo & Turtola, 2003).

3.1.3 Aineiston tilastollinen käsittely

Muuttujien arvoja suorakylvetyssä ja kynnetyssä maassa verrattiin koepaikoittain Wilcoxonin ei-parametrisella testillä ja muuttujien yhteisvaihtelua tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen (r_s) avulla (Snedecor & Cochran, 1980). Tilastollisissa testeissä riskitasona oli 0,05.

3.2 Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.2.1 Maan rakenne ja veden kulkeutuminen

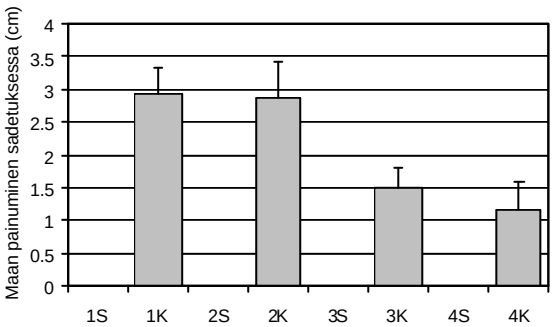
Maan painuminen sadetuksen aikana

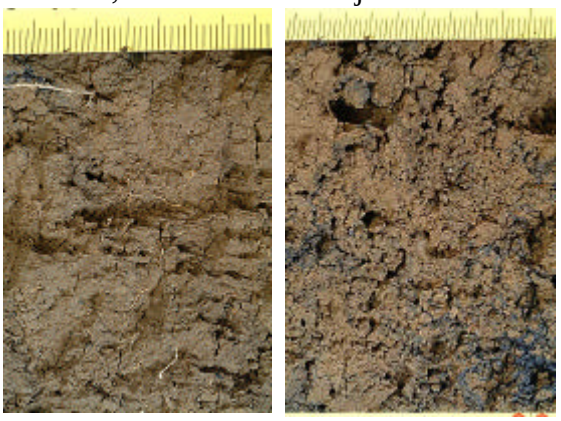
Juuri ennen näytteenottoa kynnettyjen maiden pinta painui sadetuksen aikana alaspäin toisin kuin suorakylvetyissä maissa (Kuva 3.4). Aiempien tutkimusten perusteella tiedetään, että muokatun maan rakenne tiivistyy sateen, lumen ja oman painonsa vaikutuksesta muokkauksen jälkeen. Esimerkiksi Pitkäsen (1998) mittausten mukaan kynnetyn savimaan pinta tiivistyi syksystä kevääseen mennessä, mutta sänkimuokattu maa painui selvästi vähemmän kuin kynnös.

Sadetuksen ja muiden määritysten jälkeen maan rakennetta arvioitiin silmävaraisesti. Vaikka näytteitä oli vesikäsitelty useaan kertaan, niiden mururakenteessa ei ollut näkyvissä täydellistä romahtamista tai homogenisoitumista (Kuvat 3.4 ja 3.5). Kynnetyn maan rakenteen painumisesta huolimatta, sen rakenne oli löyhempää kuin suorakylvetyn ruokamultakerroksessa Vaikka suorakylvetyn maan mururakenne oli tiivis 0-20

cm:ssä, se mureni käsiteltäessä. Siinä oli myös lierokäytäviä ja halkeamia, lohkoilla 1-3 myös selkeitä vaakahalkeamia. Havainnot vastasivat aikaisempia tutkimustuloksia suorakylvön aiheuttamista maan rakenteellisista muutoksista. Miller ym. (1998) raportoivat, että sänkimuokatun (10 cm) savisen hiuemaan rakenne oli muruisempi 0-10 cm:ssa kuin suorakylvetyn (34 vuotta), joka oli massiivinen ja lohkoinen. Monissa tutkimuksissa on myös todettu, että suorakylvetty maa oli ruokamultakerroksessa tiiviimpää kuin muokattu (mm. Douglas ym., 1986, Schjønning & Rasmussen, 2000, Rhoton ym., 2002). Kevennetyn muokkauksen tutkimuksissa todettiin sama ilmiö sänkimuokatun maan ruokamultakerroksessa (Pitkänen, 1988, Alakukku, 1998). Maan tiiviys ei ole välttämättä haitallista, sillä tiivis maan on yleensä kantavaa, mikä vähentää syvien ajourien syntymistä (Tebrügge & Düring, 1999). Ajourat haittaavat suorakylvöä ja niihin kertyy usein vettä, kun tiivistynyt maan pinta ei läpäise vettä.

Ruokamultakerroksen alapuolella Pyhäjärven alueen maiden rakenne oli tiivistä ja lujaa. Eroja oli siinä, mistä syvyydestä tiiviys alkoi sekä profiilin iskostumissa. Lohkoparin 2 maat muuttuivat tiiviiksi vasta 35-40 cm:n alapuolella. Suorakylvölohkon 3 kahdessa näytteessä oli iskostuma 35 cm:stä alaspäin. Kynnetyllä lohkolla iskostumia ei ollut. Rakenteen tiiveydestä huolimaatta ruokamultakerroksen alapuolisessa maassa oli lierokäytäviä, juurikanavia ja halkeamia. Halkeamat olivat monesti vaakasuuntaisia, mutta lohkoilla 1 ja 2





Suorakylvö Kyntö

Kuva 3.4. Kynnetyn näytteen pinnan painuma sadetuksen aikana (keskiarvo, jana=keskiarvon keskivirhe) sekä lohkoparin 3 maiden rakenne 0-20 cm:ssa. Suorakylvetyn maan pinta ei painunut (mittaustarkkuus 1 mm). Sininen väri kuvassa on näytteen värjäykseen käytettyä metyleenisineä. S, suorakylvetty; K, kynnetty maa. Mitta-asteikossa kahden viivan väli on 1 mm. Valokuvat: Risto T Seppälä

3S 3K 4S 4K

Kuva 3.5. Lohkojen 3 ja 4 maan rakenne 0-20 cm:ssa. Sininen väri kuvaa veden liikkumista märässä maassa. S, suorakylvetty; K, kynnetty. Kynnetyn lohkon 3 väri on erilainen, koska sen eloperäisen aineksen määrä on selvästi pienempi kuin suorakylvetyn lohkon (Taulukko 3.1). Valokuvat: Risto T Seppälä

havaittiin myös pystyhalkeamien muodostamia kolumneja. Lierokanavat olivat etenkin suorakylvetyssä maassa värjäytyneet, mikä osoittaa, että ne olivat tärkeitä veden kulkureittejä märässä maassa.

Aurajoen kentällä savimaa oli tiivistä ja homogeenista 23-30 cm:ssa ja sitä syvemmällä se oli muruista pohjamaata. Suorakylvetyssä maassa oli lierokäytäviä 38 cm:iin ja kynnetyssä 53 cm:iin asti. Molemmissa maissa oli halkeamia ja juurikanavia koko näytteenottosyvyydessä.

Maan makrohuokosto ja lierokanavat

Taulukossa 3.3 on esitetty makrohuokoston (halkaisija > 0,1 mm) osuus näytteen kokonaistilavuudesta. Keskimäärin kynnetyn maan makrohuokosto oli suurempi kuin suorakylvetyn sekä 0-53 cm:ssä että kerroksittain määritettynä. Kokonäytteen (0-53 cm) ja 0-20 cm:n kerroksen osalta ero oli tilastollisesti merkitsevä lohkoparilla 3 ($p=0,01$). Tulos tuki aiempia savimaan kevennetyn muokkauksen tutkimustuloksia. Auran (1987) mukaan kahden suorakylvövuoden jälkeen makrohuokosto (> 0,3 mm) oli kynnetyssä savimaassa suurempi kuin

suorakylvetyssä tai sänkimuokatussa maassa. Kynnetyn savimaan makrohuokosto oli myös suurempi kuin sänkimuokatun maan ruokamultakerroksessa (Tiiri, 1991, Alakukku, 1998, Alakukku ym., 2001) ja jankossa (Tiiri, 1991), kun maata oli sänkimuokattu yli viisi vuotta.

Myös ulkomaisissa tutkimuksissa erilaisten kivennäismaiden muokkauskerroksen makrohuokosto on ollut suurempi muokattaessa kuin suorakylvettäessä. Niissä suorakylvettyä maata verrattiin sekä kynnettyyn (Douglas ym., 1986, Tebrügge & Düring, 1999, VandenBygaart ym.,1999a, Schjønning & Rasmussen, 2000) että sänkimuokattuun maahan (Douglas ym., 1986). Sen sijaan muokkauskerrosta syvemmällä suorakylvetyssä maassa on ollut enemmän makrohuokosia kuin muokatussa maassa (Douglas ym., 1986, Miller ym., 1998, Schjønning & Rasmussen, 2000).

Tässä tutkimuksessa ruokamultakerroksen makrohuokosto oli suurempi kuin jankon (Taulukko 3.3). Tämä tuki aiempia savimailta saatuja tuloksia (Aura, 1990, Tiiri, 1991, Alakukku, 1998, Alakukku ym., 1999). Lukuun ottamatta suorakylvölohkoa 4 koealueiden maan makrohuokosto oli samaa suuruusluokkaa kuin aiemmin on määritetty hyvärakenteisissa savimaissa. Niissä ruokamultakerroksen makrohuokosto on vaihdellut välillä 8,0-18,0 m^3 $100m^{-3}$ ja jankon makrohuokosto välillä 0,9-5,4 (Tiiri 1991, Alakukku, 1996, Alakukku ym., 1999).

Taulukko 3.3. Makrohuokosto 0-53 cm:n kerroksessa. Luvut ovat mittausten keskiarvoja ja suluissa on keskiarvon keskivirhe (SE). n= 5, lohko 4 kyntö n= 4. S, suorakylvö, K, kyntö.

Syvyys (cm) Huokosto halkaisija >	Makrohuokosto (m^3 $100m^{-3}$) keskiarvo (SE)							
	Lohko 1		Lohko 2		Lohko 3		Lohko 4	
	S	K	S	K	S	K	S	K
0-53 > 0,1 mm	2,7 (0,4)	2,8 (0,6)	2,1 (0,4)	3,5 (0,9)	2,3 (0,3)	4,8 (0,2)	1,6 (0,2)	3,5 (1,3)
0-20[a)] > 0,3 mm	5,6 (0,8)	6,5 (1,0)	6,2 (0,4)	9,2 (1,2)	6,3 (0,7)	9,5 (0,2)	4,0 (0,3)	8,1 (2,4)
20-35 > 0,4 mm	2,3 (0,3)	2,9 (0,4)	2,1 (0,3)	4,8 (1,3)	1,6 (0,2)	1,9 (0,1)	0,9 (0,1)	1,1 (0,3)
35-53 > 0,4 mm	-	-	-	-	-	-	0,5 (0,1)	2,7 (1,1)

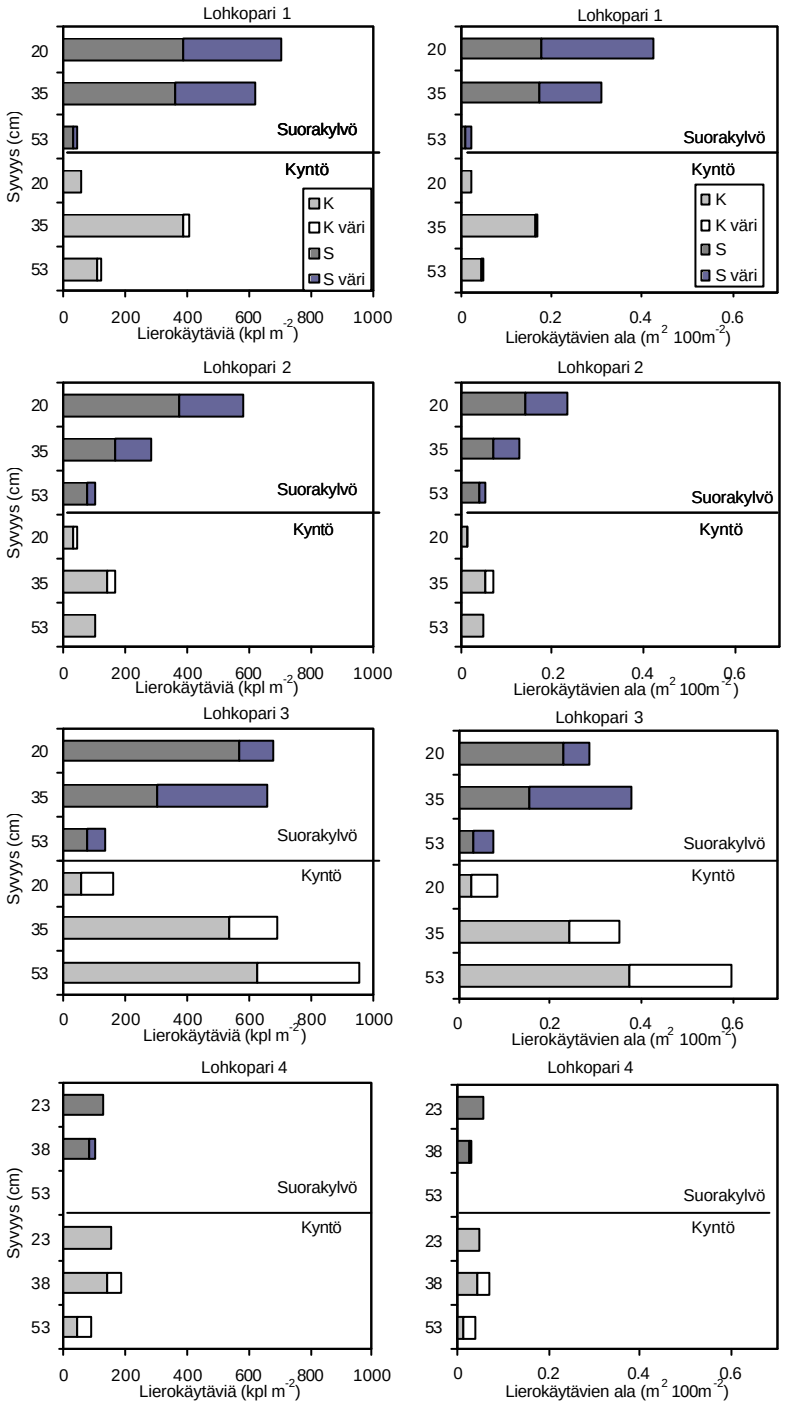
- mittausta ei tehty

a) Lohkolla 4 syvyydet 0-23, 23-38 ja 38-53 cm

Näytteiden pohjasta määritettiin sylinterinmuotoisten halkaisijaltaan 2 mm tai sitä suurempien huokosten lukumäärä ja ala. Nämä huokoset luokiteltiin lierokäytäviksi. Suorakylvetyssä maassa oli 20 cm:ssa enemmän lierokäytäviä kuin muokatussa (Kuva 3.6). Jankossa (35 cm) ero lierokäytävien määrässä oli yleensä pieni suorakylvetyn ja kynnetyn maan välillä (Kuva 3.6). Syvällä (53 cm) lierokanavia oli kynnetyssä maassa keskimäärin enemmän kuin suorakylvetyssä muualla kuin lohkoparilla 2 (Kuva 3.6, Taulukko 3.4). Kyntölohkon 3 pohjamaassa lierokäytäviä oli selvästi enemmän kuin muiden lohkojen pohjamaassa. Lohko kynnettiin keväällä, mikä oli todennäköisesti yksi syy lierokäytävien suureen määrän.

Lohkolla 4 oli lierokäytäviä vähemmän kuin karkeampien maiden lohkoilla (Kuva 3.6). Lohkoilla 1-3 lierokanavien määrä ja ala oli suurempi kuin Alakukun (1996) ja Alakukun ym. (1999) määrityksissä jäykässä savimaassa. Pitkänen & Nuutinen (1998) löysivät kynnetystä hiesumaasta 50 cm:n syvyydestä yli 200 lierokäytävää neliömerillä ja sänkimuokatussa maassa 120-200 käytävää m^{-2}. Alakukun (1998) tutkimuksessa lierokäytäviä oli kynnetyssä hiesumaassa 100-150 ja sänkimuokatussa 200-300 neliömetrillä 55 cm:n syvyydessä.

Näytteet värjättiin ennen katkaisua, joten värjäytyneet lierokäytävät ovat pinnasta jatkuvia tai ne ovat verkostoituneet muiden makrohuokosten kanssa siten, että väri on päässyt kulkeutumaan alaspäin. Lohkojen 1-3 suorakylvetyissä maissa värjäytyneitä käytäviä oli 35 cm:iin asti keskimäärin enemmän kuin kynnetyissä maissa (Kuva 3.6, Taulukko 3.4). Myös muissa tutkimuksissa todettiin muokkauksen keventämisen parantaneen huokosten jatkuvuutta etenkin jankon yläosassa (Comia ym., 1994, Pagliai ym., 1995, Pitkänen, 1997, Pitkänen & Nuutinen, 1998, Schjønning & Rasmussen, 2000, Chan ym., 2003).


Lohkopari 1
Lohkopari 2
Lohkopari 3
Lohkopari 4
Syvyys (cm)
Suorakylvö
Kyntö
K
K väri
S
S väri
Lierokäytäviä (kpl m-2)
Lierokäytävien ala (m2 100m-2)

Kuva 3.6. Lierokäytävien lukumäärä ja ala näytteen pohjassa eri kerroksissa. S, suorakylvetty, K, kynnetty maa. Lohkolla 3 kevätkyntö, muilla syyskyntö. Kuvassa on eroteltu veteen sekoitetun värin värjäämät (K väri, S väri) ja värjäytymättömät käytävät (K, S). n=5, 4K, jossa n=4.

Taulukko 3.4. Lierokäytävätulosten tilastollisten testien tulokset merkitsevien tulosten osalta. K, kyntö; S, suorakylvö; p, tilastollisen testin merkitsevyys.

Muuttuja	Lohkopari 1	Lohkopari 2	Lohkopari 3[a]	Lohkopari 4
Lierokäytävät lkm 35 cm				
Lierokäytävät lkm 53 cm	K>S, p=0,06		K>S, p=0,01	K>S, p=0,04
Lierokäytävät ala 35 cm	S>K, p=0,06			
Lierokäytävät ala 53 cm			K>S, p=0,01	K>S, p=0,04
Lierokäytävät väri lkm 35 cm	S>K, p=0,03	S>K, p=0,06		
Lierokäytävät väri lkm 53 cm			K>S, p=0,02	
Lierokäytävät väri ala 35 cm	S>K, p=0,01	S>K, p=0,04		
Lierokäytävät väri ala 53 cm			K>S, p=0,03	

a Kyntölohko 3 kynnettiin keväällä ja muut lohkot kynnettiin syksyllä.

Lierokäytävien osuus makrohuoksotilavuudesta oli yleensä pieni, alle 0,6 m^3 $100m^{-3}$ (Kuva 3.6, Taulukko 3.3), mikä vastaa aiempia tutkimustuloksia savimailta (mm. Alakukku, 1998, Alakukku ym., 1999). Tästä huolimatta etenkin jatkuvat lierokäytävät voivat parantaa merkittävästi kyllästetyn maan vedenjohtavuutta (Pitkänen & Nuutinen, 1998), infiltraatiota (Ehlers, 1975) ja juuriston syvyyskasvua (Jakobsen & Dexter, 1988).

Veden imeytyminen kenttämittauksissa

Taulukossa 3.5 on esitetty veden kumulatiivinen imeytyminen (infiltraatio) ja kenttäkyllästetyn maan vedenjohtavuus lohkoittain. Muokkauksen vaikutusta veden infiltraatioon ei voitu tarkastella, koska sitä ei saatu mitattua kahdella kyntölohkolla (2 ja 4, ks. aineisto ja menetelmät).

Suorakylvölohkojen välillä oli eroja veden imeytymisessä. Maalajiltaan karkeampien lohkojen 1 ja 3 maahan se imeytyi nopeammin kuin maalajiltaan hienojakoisten lohkojen 2 ja 4 maahan. Lohkojen 1 ja 3 kenttäkyllästetyn maan vedenjohtavuus oli keskimäärin suurempi ja lohkojen 2 ja 4 pienempi kuin suomalaisissa savimaissa on mitattu aiemmissa tutkimuksissa. Pietolan ym. (2002) mukaan laidunlohkon kenttäkyllästetyn aitosavimaan vedenjohtavuus oli karjan tallomassa kohdassa 1-2 cm h^{-1} ja tallaamattomassa kohdassa 7 cm h^{-1}. Sänkimuokatun hiuesavimaan kenttäkyllästetty vedenjohtavuus oli 4-7 cm h^{-1} (Alakukku, julkaisematon tieto).

Taulukko 3.5. Keskimääräinen kumulatiivinen infiltraatio (SUMI) ja kenttäkyllästetyn maan vedenjohtavuus (KK_{sat}). ka, keskiarvo; SE keskiarvon keskivirhe. n=5. S, suorakylvö, K, kyntö.

Mittaus, ka (SE)	Lohko 1		Lohko 2		Lohko 3		Lohko 4	
	S	K	S	K	S	K	S	K
SUMI (cm h^{-1})	23 (4)	31 (6)	8 (2)	-	22 (3)	17 (4)	3 (1)	-
KK_{sat} (cm h^{-1})	11 (2)	16 (3)	3 (1)	-	11 (2)	9 (2)	1,3 (0,3)	-

- mittausta ei tehty

Ulkomaisissa tutkimuksissa suorakylvetyn maan infiltraatio on ollut joko suurempi (Arshad ym., 1999) tai pienempi (Ball ym., 1996) kuin muokatun maan. Eri tutkimusten infiltraatiotuloksia verrattaessa on tärkeää ottaa huomioon mittausolosuhteet. Esimerkiksi Azooz & Arshad (1996) totesivat, että maan kosteuden ollessa lähellä kyllästyskosteutta muokkaustapa ei vaikuttanut infiltraatioon merkittävästi. Kun maan kosteus oli mittauksen alkaessa kenttäkapasiteetissa tai kuivempaa, suorakylvetyn maan infiltraatio oli suurempi kuin muokatun. McGarryn ym. (2000) mukaan suorakylvetyn maan infiltraatio oli pienempi kuin tavanomaisesti muokatun, kun sateen intensiteetti oli alhainen. Ero oli päinvastainen, kun sateen intensiteetti oli suuri. Raju sade lietti muokatun maan pinnan, mikä hidasti veden imeytymistä. Myös Rhoton ym. (2002) totesivat, että muokatun maan pintarakenteen liettyminen vähensi veden infiltraatiota suorakylvöön verrattuna. Kun muokattava maa oli sängellä infiltraatiomittausten aikana, ero suorakylvettyyn maahan verrattuna oli pieni.

Kyllästetyn maan vedenjohtavuus laboratoriossa

Taulukossa 3.6 on esitetty laboratoriossa mitattu kyllästetyn maan vedenjohtavuus (K_{sat}). Tulosten hajonta oli suuri, mikä on tyypillistä K_{sat}-mittaukselle. Hajontaa aiheuttavat mm. jatkuvat lierokäytävät ja savisessa maassa myös halkeamat. Ruokamultakerroksessa kynnetyn maan painuminen ennen K_{sat}-mittauksia saattoi myös pienentää kynnettyjen lohkojen läpäisevyyttä.

Keskimäärin tarkasteltuna kynnetyn maan K_{sat} oli suurempi kuin suorakylvetyn 0-53 cm:n syvyydessä. Eri kerrosten keskimääräisessä K_{sat}:ssa koetekijöiden välillä ei ollut selkeää eroa (Taulukko 3.6). Koetekijöiden väliset erot eivät olleet yleensä tilastollisesti merkitseviä. Vain lohkon 3 kynnetyn maan K_{sat} oli 0-53 ja 0-20 cm:ssa merkitsevästi ($p=0,01$) suurempi kuin suorakylvetyn maan.

Taulukko 3.6. Kyllästetyn maan vedenjohtavuus (mediaani ja vaihteluväli) 0-53 cm:n kerroksessa. n=5 paitsi 4K, jossa n=4. S, suorakylvö, K, kyntö.

Syvyys (cm)	Kyllästetyn maan vedenjohtavuus (cm h^{-1}) mediaani (pienin-suurin arvo)							
	Lohko 1		Lohko 2		Lohko 3		Lohko 4	
	S	K	S	K	S	K	S	K
0-53	0,5 0,2-143	0,9 0,2-37	0,6 0,1-116	5,5 0,1-42	1,9 0,3-4	17,9 6-84	1,6 0-8	16,0 0-53
0-20[a)]	258 94-367	105 16-444	62 24-143	38 31-199[b)]	121 17-167	285 196-529	10 3-29	95 0,1-439
20-35	85 32-462	29 15-86	33 6-299	45 3-187	66 49-116	88 17-127	16 2-21	11 9-21
35-53	-	-	-	-	-	-	0,6 0,3-2	33 0,4-53

- mittausta ei tehty
a) Lohkolla 4 syvyydet 0-23, 23-38 ja 38-53 cm
b) kolmen näytteen mediaani. Kaksi näytettä liian läpäiseviä mittauksen tekemiseksi.

Muokkauksen vaikutusta kyllästetyn maan vedenjohtavuuteen on tarkasteltu useissa kotimaisissa tutkimuksissa. Auran (1987) mukaan kaksi vuotta suorakylvetyn savimaan K_{sat} oli 0-45 cm:ssa selvästi pienempi kuin kynnetyn maan. Pitkänen & Nuutinen (1998) totesivat, että hiesusaven K_{sat} 0-55 cm:ssa oli 15 koevuoden jälkeen kevätsänkimuokatussa maassa keskimäärin selvästi suurempi kuin syksyllä kynnetyssä tai syksyllä sänkimuokatussa maassa. Ruokamultakerroksessa sänkimuokatun savimaan K_{sat} oli pienempi kuin kynnetyn maan 5-10 koevuoden jälkeen (Pitkänen & Nuutinen, 1995, Alakukku, 1998, Alakukku ym., 2001).

Ulkomaisissa tutkimuksissa suorakylvetyn maan K_{sat} on ollut yleensä suurempi kuin muokatun maan. Kanadalaisessa tutkimuksessa suorakylvetyn hietaisen ja hiesuisen hiuemaan K_{sat} oli 0-15 cm:ssä merkittävästi suurempi kuin sänkimuokatun maan. Hietaisessa hiuemaassa se oli suorakylvettäessä suurempi myös 22-30 cm:ssä (Azooz ym., 1996). Benjamin (1993) raportoi, että kahdeksassa pitkäaikaiskokeessa kyllästetyn hiesumaan vedenjohtavuus oli 2,5-10 cm:ssä suorakylvettäessä 30-180 % suurempi kuin kynnettäessä. Wu:n ym. (1992) mukaan suorakylvetyn hiuemaan K_{sat} oli yhtä suuri tai suurempi kuin kynnetyn sekä 0-25 että 25-50 cm:ssä kuuden koevuoden jälkeen.

Kenttä- ja laboratoriomittausten vertailu

Kyllästetyn maan vedenjohtavuutta mitattiin sekä kentällä että laboratoriossa. Mittaustulokset eivät ole lukuarvoina verrattavissa toisiinsa. Mittaustapa on erilainen, sillä kenttämittauksissa vesi pääsi virtaamaan myös sivusuunnassa, kun laboratoriossa mitattiin vain maan pystysuuntaista vedenjohtavuutta.

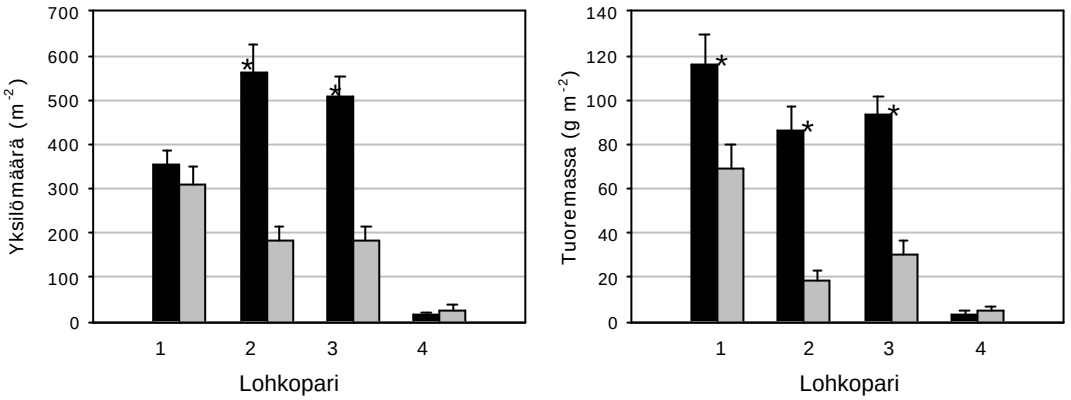
Kentällä todettiin kynnetyn maan taipumus johtaa vettä sivuttaissuunnassa jankon ja kyntökerroksen rajapinnassa. Laboratoriomittausten tulokseen on voinut vaikuttaa myös näytteen suhteellisen pieni halkaisija. Kun näyte on pieni, jatkuvat lierokäytävät voivat katketa näytteenoton yhteydessä, mikä puolestaan pienentää kyllästetyn maan vedenjohtavuutta. Toisaalta laboratoriomittauksessa näytteen katkaiseminen voi myös parantaa huokosten jatkuvuutta.

3.2.2 Lierojen määrä ja lajijakauma

Lieroaineisto käsitti yhteensä 1 935 yksilöä, joista 82 % (1 578 kpl) oli peräisin suorakylvetystä ja 18 % (357 kpl) kynnetystä maasta. Lierolajeja aineistossa oli kaikkiaan seitsemän (suluissa osuus tunnistetuista yksilöistä): onkiliero (69 %), kasteliero (12 %), peltoliero (10 %), multaliero (7 %), metsäliero (2 %), harmaaliero (<1 %) ja punaliero (<1 %). Suorakylvetyssä maassa lähes 60 % yksilöistä oli epigeeisiä lajeja (esim. onkiliero) sekä kastelieroja, endogeeisten lajien (esim. peltoliero) osuuden ollessa noin 40 %. Kynnetyssä maassa tilanne oli selkeästi päinvastainen: endogeeisten lajien osuus oli lähes 90 % ja muiden lierojen noin 10%. Ero kuvastaa maan pinnan korjuutähteitä ravinnokseen käyttävien lajien osuuden kasvua suorakylvössä.

Pyhäjärven valuma-alueen lohkopareilla lierojen kokonaisrunsaus oli suorakylvetyssä maassa aina korkeampi kuin kynnetyssä maassa (Kuva 3.7). Vain yhdessä tapauksessa, lohkoparin 1 lierotiheydessä, ero suorakylvön hyväksi ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Lierojen tiheys oli suorakylvetyssä maassa hyvin korkea, keskimäärin 350-560 yksilöä m^{-2}, mikä vastaa 3,5–5,6 miljoonaa lieroa hehtaarilla. Tuorepainona mitaten vastaavat luvut olivat 86-116 g m^{-2} ja 860–1 160 kg ha^{-1}. Myös kynnettyjen maiden lierotiheydet olivat varsin korkeita (180-310 yksilöä ja 19-69 g m^{-2}). Tulos viittaa siihen, että alueen maat ovat ylipäätään suotuisia lierokantojen kasvulle.

Aurajoen valuntakenttä erottui muista tutkimuspaikoista hyvin pienen lieromääränsä vuoksi (Kuva 3.7). Havainnolle on vaikea antaa tyydyttävää selitystä. Yhtenä vaikuttavana tekijänä saattoi olla näytteenoton ajoittuminen kevääseen ja talvikuolleisuuden heijastuminen tuloksissa. Luultavaa kuitenkin on, että paikan lierotiheydet ovat olleet pitkään matalia vuodenajasta riippumatta. Siihen viittaa lieronkäytävien vähäinen määrä paikalta otetuissa maanäytteissä (ks. kuva 3.6). Aurajoen kentän muihin tutkimuspaikkoihin verrattuna korkea savespitoisuus tuskin sekään selittää lierojen vähäistä määrää, sillä eteläsuomalaisten viljeltyjen savien lierotiheys voi olla varsin korkea. Esimerkiksi Lounais-Hämeessä sijaitsevalla, yli sata vuotta vilja-nurmi -



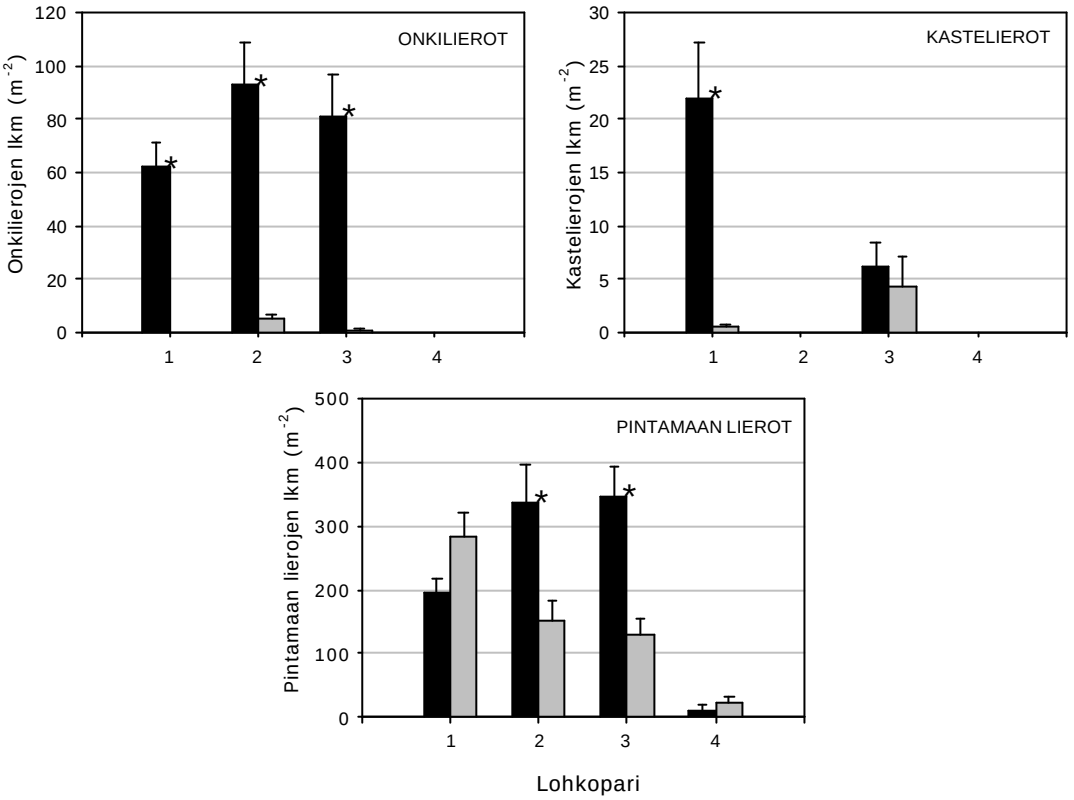
Kuva 3.7. Lierojen kokonaisrunsaus lohkopareissa 1-4. Musta pylväs, suorakylvö; vaalea pylväs, kyntö. Janat pylväiden päissä osoittavat keskiarvon keskivirheen. * = ero viljelytapojen välillä on tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.05$).

kierrossa olleella hietasavipellolla lierojen keskimääräinen tiheys oli syksyllä 2003, samoin menetelmin mitattuna, 270 yksilöä m^{-2} (Nuutinen & Nieminen, julkaisematon).

Selkein ja johdonmukaisin ero suorakylvetyn ja kynnetyn maan lieroyhteisöjen kokoonpanossa oli onkilierojen runsaus Pyhäjärven valuma-alueen suorakylvömaissa (Kuva 3.8). Kastelieroja esiintyi lohkopareissa 1 ja 3 ja ensin mainitussa niiden tiheys oli hyvin korkea suorakylvetyssä maassa (Kuva 3.8). Lohkoparissa 3 kastelieroja löytyi kynnetystä maasta lähes yhtä paljon kuin suorakylvetystä, mahdollisesti osin siksi, että muokkaus ajoittui muista pareista poiketen kevääseen (vrt. Nuutinen, 1992). Korkealla oleva pohjaveden pinta on ilmeisesti tärkeä kastelierojen esiintymistä rajoittava tekijä (Nuutinen ym., 2001) ja kastelierojen puuttuminen lohkoparin 2 suorakylvöstä saattoi johtua maan märkyydestä tutkimukseen valitulla peltolohkon osalla. Lohkopareissa 2 ja 3 endogeeisia pintamaan lieroja oli suorakylvetyssä maassa selvästi kynnettyä maata runsaammin. Pareissa 1 ja 4 tilanne oli päinvastainen, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

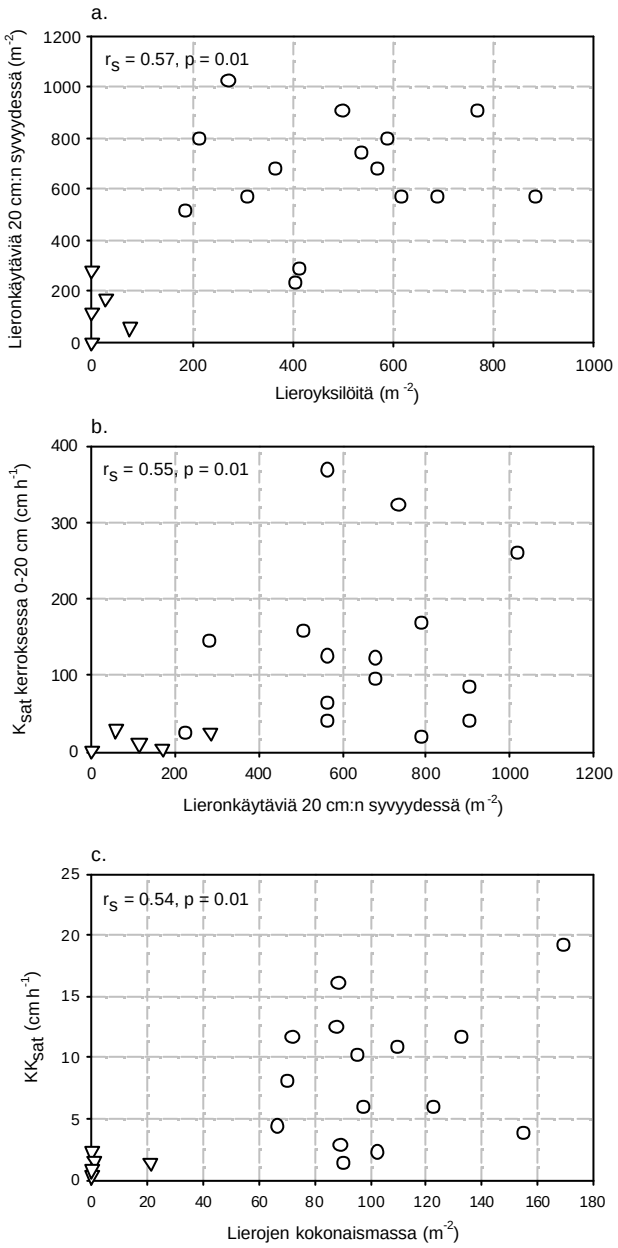
Lierojen vaikutus maan rakenteeseen ja vedenläpäisevyyteen

Koko aineistoa tarkasteltaessa lieronkäytävien määrä kasvoi suorakylvettyjen lohkojen kaikissa maakerroksissa lierorunsauden kohotessa. Kuvassa 3.9a on esimerkki muuttujien yhteisvaihtelusta 20 cm:n syvyydessä. Kynnetyssä maassa ei voitu havaita vastaavaa, johdonmukaisesti positiivista korrelaatiota.



Kuva 3.8. Onki- ja kastelierojen sekä pintamaan lierolajien (pelto-, multa- ja harmaaliero) yksilömäärä lohkopareissa 1-4. Musta pylväs, suorakylvö; vaalea pylväs, kyntö. Janat pylväiden päissä osoittavat keskiarvon keskivirheen. * = ero viljelytapojen välillä on tilastollisesti merkitsevä ($p < 0.05$).

Kun lieronkäytäviä oli maassa vähän, oli maan veden läpäisevyys heikko. Esimerkiksi suorakylvetyn maan kahdessa ylimmässä maakerroksessa (0-20 ja 20-35 cm) laboratoriossa mitattu kyllästetyn maan vedenläpäisevyys kasvoi lierojen käytävien tiheyden noustessa, joskaan korrelaatio ei ollut kovin voimakas. Kuvan 3.9b esimerkki on suorakylvetyn maan ylimmästä kerroksesta. Vastaava positiivinen suhde havaittiin myös kynnetyssä maassa 20-35 cm:n syvyydessä. Sekä kynnetyssä että suorakylvetyssä maassa värjäytyneiden lierokäytävien ja kyllästetyn maan vedenjohtavuuden välillä oli selvä positiivinen korrelaatio ruokamultakerroksen alapuolella (mittaukset kokonaiselle maanäytteelle (0-53 cm) sekä keskikerrokselle (20-35 cm)).



Kuva 3.9. Esimerkkejä lieroaktiivisuuden sekä maan huokosrakenteeseen ja vedenläpäisevyyteen yhteisvaihtelusta suorakylvetyssä maassa. a) Lierojen yksilömäärä ja lieronkäytävien määrä 20 cm:n syvyydessä. b) Lieronkäytävien määrä 20 cm:n syvyydessä ja pintamaan (0-20 cm) laboratoriossa mitattu kyllästetyn maan vedenjohtavuus (K_{sat}) . c) Lierojen kokonaismassa ja kentällä mitattu kyllästetyn maan vedenjohtavuus (KK_{sat}) . (N=20; ympyrät = Pyhäjärven alueen lohkot; kolmiot = Aurajoen valuntakenttä; r_s = Spearmanin korrelaatiokerroin).

Suorakylvetyssä maassa myös kentällä mitattu kyllästetyn maan vedenjohtavuus korreloi positiivisesti lierojen kokonaismäärän kanssa. Kuvassa 3.9c tulos on esitetty käyttäen massaa lierorunsauden mittana, jotta kookkaiden, maan vedenjohtavuuteen voimakkaasti vaikuttavien kastelierojen merkitys tulisi huomioitua.

3.2.3 Salaojien toimivuus suorakylvetyssä maassa

Märänkin maan tulisi pystyä varastoimaan tilapäisesti kymmeniä millimetrejä sadevettä. Tämä maan ominaisuus tarvitaan, koska veden liikkuminen salaojiin kestää yleensä useita vuorokausia. Jos kostealla maalla ei ole vedenvarastoimiskykyä, sadevettä kertyy helposti maan pinnalle.

Kriittisin ajankohta salaojaston toiminnassa on yleensä kevät tai syksy, jolloin savimaa on kosteana paisuneessa tilassa ja maan vedenläpäisevyydellä on pienin arvo. Häiriöt salaojaston toiminnassa esiintyvätkin lähinnä keväisin ja syksyisin. Jos runsaan sateen aikana vesi painuu maahan hitaasti, kertyy vapaata vettä maan pinnalle. Maan pinnan ollessa kalteva pintavesi alkaa virrata, jolloin peltolohkon notkelmiin kertyy vesilammikoita. Pintavesivirtaukset aiheuttavat helposti eroosiota, koska maan huokosten seinämät eivät hidasta kitkan avulla virtausta. Veden infiltraatio ennestään kosteaan maahan riippuu lähinnä maan pintakerrosten läpäisevyydestä. Veden liikkumisnopeus maan sisällä riippuu maakerrosten vedenläpäisevyydestä. Jos pohjamaan läpäisevyys on pieni, vesi virtaa runsaan sateen aikana suureksi osaksi pintakerroksissa ojaan päin. Maan ominaisuuksista vedenläpäisevyys eli K-arvo vaikuttaa eniten salaojien toimintaan.

Yleensä kyllästetyn maan vedenläpäisevyys vaihtelee huomattavasti peltolohkon eri osissa. Kuitenkin on usean näytteen keskiarvoja käyttämällä on päästy tyydyttäviin tuloksiin eri maakerrosten kosteuden ja veden valumisen ennustamisessa (Aura, 1990). Tässä tutkimuksessa mitattujen vedenjohtavuusarvojen hajonta oli erittäin suuri (Taulukko 3.6), minkä vuoksi tuloksia on pidettävä lähinnä suuntaa antavina.

Salaojaston toiminta suorakylvetyssä maassa laskettiin käyttäen lohkoparin 1 mittaustuloksia. Mittaustuloksista jätettiin keskiarvoa laskettaessa pois yksi täysin muista poikkeava näyte, jonka vedenjohtavuus oli merkittävästi muita näytteitä suurempi. Siten ko. lohkon arvot voivat antaa liian huonon kuvan suorakylvetyn maan hydrologiasta. Laskennassa käytetty suorakylvetyn maan K_{sat} oli 0,45 cm tunnissa. Alkutilanteeksi oletettiin, että sataa useana päivänä

peräkkäin ja maa on ennen sateen sattumista jo ennestään varsin märkää, eli pohjamaa on vedellä kyllästettynä 25 cm:stä alaspäin. Tällöin lohkoparin 1 suorakylvölohkolle oletetulla alkutilanteella ja läpäisevyyden arvoilla jo yli 5 mm:n vuorokautinen sade kerää vettä maan pinnalle. Jos tarkastellaan lohkoparin 3 suorakylvettyä lohkoa (K_{sat} 2,0 cm h^{-1}), tilanne on jo paljon parempi. Samalla alkutilanteella se kestää ilman pintaveden kertymistä noin 20 mm:n vuorokautisen sateen. Maata on pidettävä jo hyvin toimivana.

Huonoin kynnetyn maan läpäisevyyden keskiarvo oli lohkolla 1 (K_{sat} 8,5 cm h^{-1}). Samalla alkutilanteella kuin suorakylvetyillä lohkoilla edellä se sietää ilman pintaveden vaaraa jo yli 50 mm:n sateen vuorokaudessa. Tulokset ennustavat, että pintavettä ei kerry helposti tämän tutkimuksen kynnetyille lohkoille. Sen sijaan suorakylvölohkoilla pintaveden vaara on suurempi. Raja-arvona voidaan pitää K_{sat}-arvo 1 cm h^{-1}. Jos maaprofiilille mitattu K_{sat} on tätä pienempi, niin pintaveden esiintymisen vaara on suuri. Suorakylvölohkoillakin olisi päästävä keskimääräiseen läpäisevyyteen noin 2 cm h^{-1}.

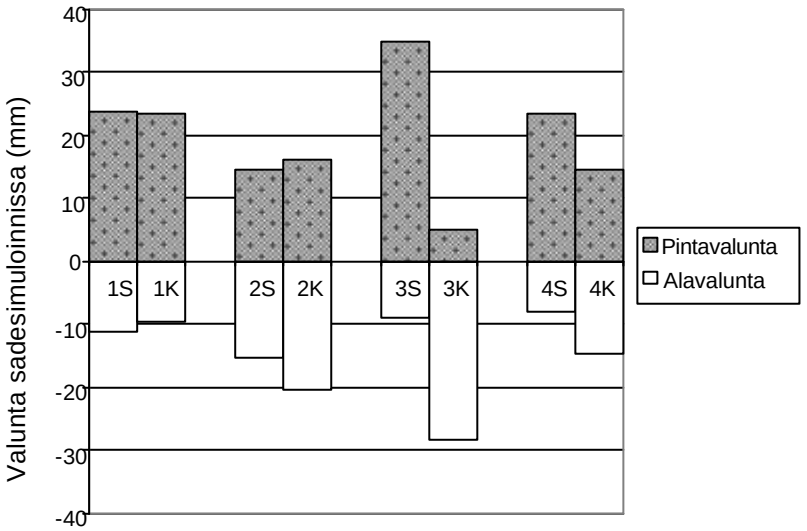
3.2.4 Valuntasuhteet sadesimuloinnissa

Sadesimulaatiossa näytteitä sadetettiin 50 mm:n vesimäärällä, josta muodostui kokonaisvaluntaa 29–44 mm, viiden samalta paikalta otetun näytteen keskiarvona. Maa oli kasteltu ennen simulointia ja veden pinta oli laskettu näytteen pohjan tasolle. Simuloinnin alussa maa oli kyllästämättömässä tilassa, mutta sadetuksen jatkuessa maan kosteus läheni kyllästettyä tilaa niissä tapauksissa, missä vesi imeytyi maahan. Osittain läpi tullut valunta oli kuitenkin todennäköisesti ohivaluntaa jatkuvia makrohuokosia pitkin.

Kokonaisvalunnasta oli pintavaluntaa keskimäärin 15-79 % (Taulukko 3.7). Pintavalunnan määrä vaihteli samalta lohkolta otettujen näytteiden välillä erittäin paljon, eniten kuitenkin näytepareissa 2 ja 4, joiden maat olivat hienojakoisempia kuin pareissa 1 ja 3. Pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta vaihteli niin paljon, että on vaikea nähdä muokkauksen vaikuttaneen yksiselitteisesti valunnan suuntautumiseen. Tämän aineiston perusteella suorakylvettyjen lohkojen pintavaluntariski ei näyttäisi kuitenkaan pienemmältä kuin kynnettyjen vastaava riski. Päinvastoin lohkopareissa 3 ja 4 valunta suuntautui suorakylvetyillä lohkoilla enemmän pintavalunnaksi kuin maan läpi tapahtuvaksi valunnaksi; muissa pareissa pintavalunnan osuus oli suorakylvössä ja kynnössä keskimäärin saman suuruinen (Kuva 3.10).

Taulukko 3.7. Keskimääräinen kokonaisvalunta, alavalunta, pintavalunta ja pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta suorakylvetyiltä ja kynnetyiltä näytepaikoilta otettujen maaprofiilien (0-53 cm) sadesimuloinneissa. Pintavalunnan keräys suorakylvetyistä maaprofiileista 5 cm:n ja kynnetyistä 20 cm:n syvyydestä.

Lohko	Kokonaisvalunta (mm)	Alavalunta (mm)	Pintavalunta (mm)	Pintavalunnan osuus (%) (vaihteluväli)
1, Suorakylvö	35	11	24	68 (15-86)
1, Kyntö	33	10	23	70 (49-100)
2, Suorakylvö	30	15	15	49 (0-100)
2, Kyntö	37	21	16	44 (0-97)
3, Suorakylvö	44	9	35	79 (50-93)
3, Kyntö	33	28	5	15 (0-34)
4, Suorakylvö	32	8	24	75 (29-100)
4, Kyntö	29	15	14	50 (5-100)



Kuva 3.10. Kokonaisvalunnan suuntautuminen suorakylvettyjen (S) ja kynnetyjen (K) maaprofiilien sadesimuloinnissa pintavalunnaksi ja maakerroksen (53 cm) läpi tulleeksi alavalunnaksi. Pintavalunnan keräys suorakylvetyistä maaprofiileista 5 cm:n ja kynnetyistä 20 cm:n syvyydestä.

Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös huuhtoumakoekentiltä. Jokioisten huuhtoutumiskentällä muokkauksen keventäminen kasvatti pintavalunnan osuutta kokonaisvalunnasta. Pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli kynnetyllä maalla 15-27 %, matalaan kultivoidulla maalla 40 % ja sängelle jätetyllä maalla 50 %, kun kokonaisvalunta oli 233-291 mm vuodessa (Turtola ym., 2003). Vastaavia havaintoja ovat tehneet Norjassa Børresen & Uhlen (1991)

sekä Skøien ym. (1995) ja USA:ssa Myers & Wagger (1996, sadesimulaatio). Lal ym. (1989) tutkivat suorakylvön vaikutusta salaoja- ja pintavaluntaan hiesusavimaalla kuuden vuoden ajan. Pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli suorakylvettäessä 26 % (kokonaisvalunta 420 mm) ja kynnetyssä 24 % (540 mm).

Toisaalta suorakylvön on myös raportoitu vähentäneen pintavaluntoja ja sitä kautta säästäneen kosteutta etenkin kasvukauden aikana (mm. Shipitalo & Edwards, 1998, Shipitalo ym., 2000). Randall & Iragavarapu (1995) totesivat, että 11 vuoden keskiarvona suorakylvetyn savisen hiuemaan salaojavalunta oli 12 % suurempi kuin syyskynnetyn maan. Pitkään suorakylvetyssä maassa pintavalunta oli puolestaan 41 % pienempi kuin tavanomaisesti muokatussa maassa (Rhoton ym., 2002). Kivennäismailla tehdyissä sadesimulointikokeissa (63 mm h^{-1}, tunnin sadetus) pintavalunta oli kynnetyltä maalta 39 mm ja suorakylvetyltä 24 mm (Tebrügge & Düring, 1999). Pitkänen & Nuutinen (1998) tutkivat sadesimulaatiossa syyskynnetyn, syyssänkimuokatun ja kevätsänkimuokatun veden liikkumista hiesusavimaassa 15-koevuoden jälkeen. Kevätsänkimuokatussa maassa pintavalunta oli selvästi pienempää kuin syysmuokatuissa maissa. Näytteiden läpi tulleessa vesimäärässä ei ollut eroa.

Tässä tutkimuksessa maan hydrologisten ominaisuuksien vaihtelu (mm. Taulukko 3.6) aiheutti suuria eroja valunnan suuntautumisessa samalta lohkoilta otetuissa maaprofiileissa (Taulukko 3.8). Useassa simuloinnissa vettä myös kertyi maan pinnalle, mikä merkitsisi todellisuudessa yhtä voimakkaan sateen tai lumen sulamisen sattuessa veden virtaamista pellon pinnalla kaltevuuden suuntaan. Jos läpäisemättömiä kohtia on pellolla paljon ja pelto on kalteva, eroosio voi ajoittain kasvaa suureksi. Sadesimulaatiossa ei tullut esille tämän ilmiön todellinen merkitys eikä sen vaikutus eroosioon ja fosforikuormitukseen.

3.2.5 Eroosio sadesimuloinnissa

Maa-ainespitoisuus pintavalunnassa

Pintavalunnan valuntamäärällä painotettu maa-ainespitoisuus oli suorakylvetyiltä lohkoilta otettujen lieriönäytteiden simuloinneissa yleensä pienempi kuin viereisiltä kynnetyiltä lohkoilta otetuista näytteistä tullut pitoisuus (Taulukko 3.9). Ero oli kaikkein suurin Aurajoen kentällä, missä suorakylvetyn maan pintavalunnassa oli eroosioainesta keskimäärin 0,29 g l^{-1}, kun vastaava kynnetyn

Taulukko 3.8. Valunnan suuntautuminen suorakylvetyiltä ja kynnetyiltä näytepaikoilta otettujen maaprofiilien (0-53 cm) sadesimuloinneissa (1-5). P, vain pintavaluntaa; A, vain alavaluntaa; P + A, pintavaluntaa ja alavaluntaa. Pieni kirjain (p, a), valunta alle 20 % kokonaissadetuksesta. K, pinnalle kertynyt vettä enemmän kuin 10 % kokonaissadetuksesta.

	Simulaation ja näytteen numero				
Lohko	1	2	3	4	5
1, Suorakylvö	P + a + K	P + a	P + a	P + A	p + A
1, Kyntö	P + A	p + a	P + a	P + A	P
2, Suorakylvö	P	p + A	A	p + a + K	P + a
2, Kyntö	P + A + K	P + a	P + a	A	A
3, Suorakylvö	P + A	P + A	P + a	P + a	P + a
3, Kyntö	p + A	P + a	p + A + K	p + A	A
4, Suorakylvö	P + a	p + K	P + a	P + K	P + A
4, Kyntö	P + a	A	K	p + A	P

näytteen pitoisuus oli 1,1 g l^{1}. Myös Pyhäjärven alueen lohkopareilla 2 ja 3 suorakylvetyn maan pintavalunnan eroosioainespitoisuus oli selvästi pienempi kuin kynnetyn maan. Lohkoparin 1 pintavalunnan vastaavat pitoisuudet olivat puolestaan hyvin lähellä toisiaan, ja kynnetystä lieriönäytteestä tullut pitoisuus hieman suorakylvettyä pienempi (Taulukko 3.9).

Tulokset vastasivat siten pääosin muualla tehtyjä kenttätutkimuksia, joissa pintavalunnan eroosioainespitoisuus on yleensä pienentynyt siirryttäessä suorakylvöön (Børresen & Uhlen, 1991, Chichester & Richardson, 1992, Myers & Wagger, 1996, Shipitalo & Edwards, 1998). Myers:in & Wagger:in (1996) sadesimulaatiotutkimuksen tulokset muistuttivat sikälikin tässä saatuja, että suorakylvö ei vähentänyt pintavaluntaa, mutta pystyi tehokkaasti pienentämään valunnan eroosioainespitoisuutta, minkä seurauksena kokonaiseroosio väheni. Suorakylvetyn maan pinta on tiiviimpi (Kuvat 3.4 ja 3.5) ja myös pintakerroksen maamurujen on havaittu olevan stabiilimpia kuin kynnetyssä maassa (Tebrügge & Düring, 1999).

Alavalunnan maa-ainespitoisuus

Tässä tutkimuksessa myös alavalunnan eroosioainespitoisuus oli suorakylvettyjen maiden näytteissä joko samansuuruinen tai hieman pienempi kuin kynnetyissä maissa (Taulukko 3.9). Erityisesti karkeammilla mailla (lohkoparit 1 ja 3) eroosioaineksen keskimääräinen pitoisuus alavalunnassa oli

Taulukko 3.9. Eroosioaineksen keskimääräinen pitoisuus ja kokonais eroosio sadesimuloinnissa.

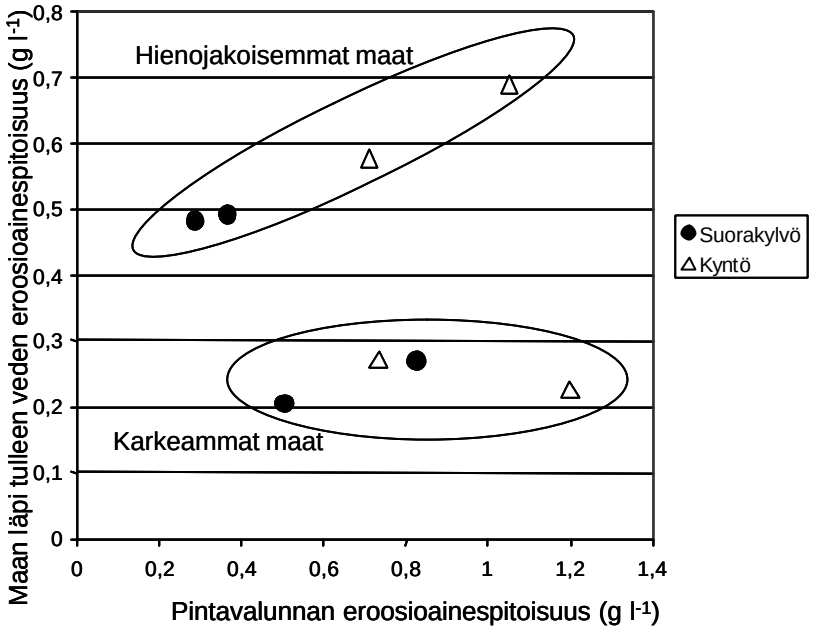
Lohko	Eroosioaineksen pitoisuus (g l^{-1})			Eroosio (g)		
	Pinta-valunta	Ala-valunta	Pintaval./ Alaval.	Pinta-valunta	Ala-valunta	Yhteensä
1, Suorakylvö	0,83	0,27	3,1	1,7	0,3	2,0
1, Kyntö	0,73	0,27	2,7	1,5	0,3	1,8
2, Suorakylvö	0,37	0,49	0,8	0,5	0,6	1,1
2, Kyntö	0,71	0,58	1,2	1,0	0,8	1,8
3, Suorakylvö	0,50	0,21	2,4	1,6	0,6	2,2
3, Kyntö	1,2	0,23	5,2	0,5	0,1	0,6
4, Suorakylvö	0,29	0,48	0,6	0,6	0,3	0,9
4, Kyntö	1,1	0,69	1,6	1,3	0,9	2,2

pieni, 0,2-0,3 g l^{-1}, mihin oli todennäköisimmin syynä pinnalta irronneen aineksen suodattuminen veden kulkiessa maan läpi (Kuva 3.11). Eroosioaineksen suodattumisaste, joka laskettiin jakamalla pintavalunnan pitoisuus alavalunnan pitoisuudella, vaihteli pareissa 1 ja 3 välillä 2,4-5,2. Enemmän hiesua ja savesta sisältäneissä lohkopareissa 2 ja 4 suodattuminen oli vähäisempää ja alavalunnan keskimääräinen eroosioainespitoisuus luokkaa 0,5-0,7 g l^{-1}. Eroosioaineksen suodattumisaste jäi näiden lohkoparien kynnetyissä maissa välille 1,2-1,6. Suorakylvetyissä näytteissä se jäi jopa alle yhden (0,6-0,8), joten maan läpi virrannut vesi on todennäköisesti irrottanut maan pintakerroksen (0–5 cm) alapuolelta enemmän maa-ainesta kuin sitä on suodattunut huokosissa. Näissä tapauksissa maa-ainesta myös irtosi maan pinnasta hyvin vähän. Todennäköisesti irronneiden maahiukkasten taipumus lähteä liikkeelle oli selvästi keskimääräistä suurempi ja siten myös hiukkasten taipumus pidättyä maaprofiilissa olisi vähäinen.

Kokonaiseroosio

Eroosioainespitoisuuksien ja valunnan suuntautumisen lopputuloksena suorakylvö vähensi kokonaiseroosiota hienojakoisemmilla mailla (lohkot 2 ja 4), sillä eroosioaineksen pitoisuus pieneni sekä pintavalunnassa että alavalunnassa.

Sen sijaan karkeammilla mailla eroosioaineksen pitoisuuden lasku pintavalunnassa ei riittänyt kompensoimaan pintavalunnan runsastumisesta aiheutunutta haittaa, kun kaikkien näytteiden alavalunnan pitoisuudet olivat pieniä karkeammilla mailla (Taulukko 3.9). Siten karkeammissa suorakylvetyissä maissa keskimääräinen eroosio lisääntyi joko hieman tai selvästi suuremmaksi kuin kynnetyissä maissa.



Kuva 3.11. Eroosioaineksen keskimääräinen pitoisuus pintavalunnassa ja maan läpi tulleessa valunnassa. Sadesimulointi suorakylvettyjen ja kynnettyjen lohkojen maaprofiileille.

Muualla tehtyjen kenttätutkimusten valossa on ymmärrettävää, että suorakylvö toisissa vertailupareissa vähensi ja toisissa tapauksissa jopa lisäsi eroosiota. Norjassa tehtyjen kenttätutkimusten mukaan kevätviljojen suorakylvö vähensi eroosiota hiue- ja aitosavimailla 4-85 %, eniten kaltevuudeltaan 12 % olevalla keinotekoisesti tasoitetulla maalla (Skøien, 1988, Børresen & Uhlen, 1991, Skøien ym., 1995). Pekrun:in ym. (2003) yhteenvedon mukaan suorakylvön vaikutus pintavalunnan määrään ja eroosioon vaihteli huomattavasti olosuhteiden mukaan. Markku Puustisen Aurajoen kentällä saamien alustavien tulosten mukaan suorakylvö vähensi pintavalunnan tuomaa eroosiota alle kolmasosaan, kun taas huomattavasti loivemmalla (2 %) Jokioisten huuhtoutumiskentällä sängelle jättäminen lisäsi pintavalunnan osuutta kokonaisvalunnasta ja vähensi eroosiota vain 17 % (vuotuinen eroosio sängeltä 760, kynnetyltä maalta 920 kg ha^{-1}) (Puustinen & Turtola, 2004b).

Parhaimmat tulokset suorakylvöllä on saavutettu vähän orgaanista ainesta sisältävillä mailla, joilla eroosio on muuten suurta. Esimerkiksi Koillis-USA:n lössialueella suorakylvö vähensi eroosiota hyvin rankkojen sateiden aikana, jotka olivat tyypillisiä keväällä (Shipitalo & Edwards, 1998). Yhdellä mittausalueella

pintavalunta väheni kyntöön verrattuna 178 mm:stä 2 mm:iin ja pintavalunnan tuoma eroosio 5335 kg:sta 7 kg:aan vuodessa viljeltäessä maissia neljän vuoden ajan. Keskimäärin eroosio väheni noin puoleen kuuden vuoden viljelykierron aikana (eroosio suorakylvetyltä maalta 577 kg, kynnetyltä 1287 kg ha^{-1} vuodessa). Alueen kokonaissademäärä oli keskimäärin 954 mm ja intensiteetiltään 25 mm h^{-1} ylittävien sateiden osuus keskimäärin 208 mm vuodessa. Sademäärä ja etenkin sateiden voimakkuus olivat siten korkeampia kuin Suomessa, sillä meillä sateen intensiteetti on tyypillisesti vain 5-10 mm h^{-1} (Kuusisto, 1980).

3.2.6 Maaperän fosfori

Fosforin kokonaismäärä

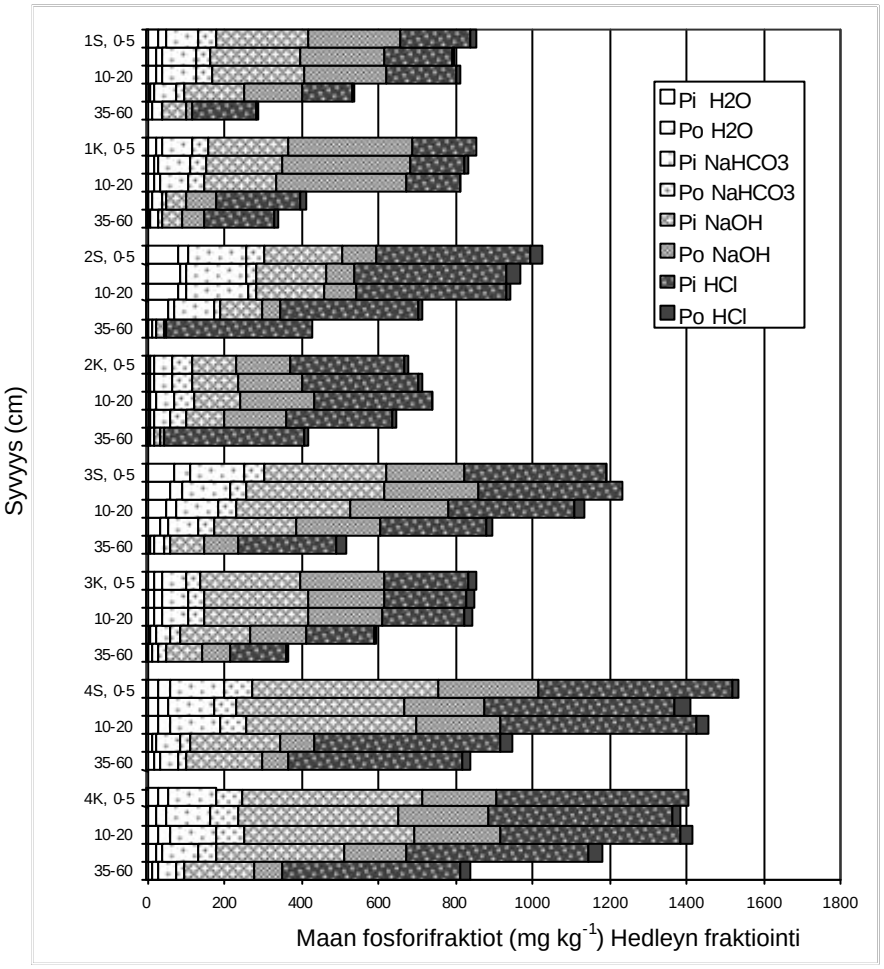
Fosforin kokonaispitoisuus peltolohkojen 0-20 cm:n maakerroksessa oli 900-1600 mg kg^{-1} ja tämän alapuolella (60 cm:iin saakka) 460-1040 mg kg^{-1} (Taulukko 3.10). Hehtaaria kohti laskettuna parien 1 ja 4 suorakylvetyissä maissa fosforin määrä oli entisessä kyntökerroksessa (0–20 cm) noin 100 kg ha^{-1} enemmän kuin kynnetyissä vertailupareissa. Parissa 2 fosforia oli suorakylvetyn maan pintakerroksessa (0-20 cm) 750 kg ha^{-1} ja tämän alapuolella 220 kg ha^{-1} enemmän kuin kynnetyssä maassa. Parissa 3 oli suorakylvetyssä maassa vastaavasti 670 kg ha^{-1} ja 1000 kg ha^{-1} enemmän fosforia kuin viereisellä kynnetyllä lohkolla. Myös syvimmässä tutkitussa (35-60 cm:n) maakerroksessa fosforia oli parin 3 suorakylvetyllä lohkolla enemmän. Lohkoparien 2 ja 3 suuret fosforikertymät suorakylvölohkoilla ovat ilmeisesti pääosin seurausta aikaisemmasta viljelyhistoriasta, johon on viljelijöiden mukaan sisältynyt mm. avomaan vihannesten ja sokerijuurikkaan viljelyä ja siten voimaperäistä fosforilannoitusta. Tämän esiselvityksen aineistossa kaikkia maan fosforitilasta aiheutuneita kuormitusmuutoksia ei siten voida tulkita yksinomaan erilaisesta muokkaustavasta johtuviksi.

Epäorgaaninen ja orgaaninen fosfori

Fosforin liukoisuutta luonnehdittiin määrittämällä sen jakautuminen epäorgaanisiin ja orgaanisiin fraktioihin Hedley:n ym. (1982) menetelmän mukaisesti. Fraktioinnissa saatiin uutettua 80 % pintamaan (0-20 cm) kokonaisfosforista ja noin 70 % syvempien maakerrosten fosforista. Hedleyn fraktioinnin tulokset (Kuva 3.12) osoittivat viljavuusfosforimääritysten (Taulukko 3.1) tavoin, että maan fosforitila oli vertailupareissa 2 ja 3 selvästi korkeampi voimaperäisemmin lannoitetuilla suorakylvetyillä lohkoilla kuin kynnetyillä lohkoilla (Kuva 3.12). Samoin parissa 3 helppoliukoisimpien epäorgaanisten fosforifraktioiden pitoisuus oli hieman suurempi myös

Taulukko 3.10. Maan kokonaisfosfori eri kerroksissa. S, suorakylvö, K, kyntö.

Maakerros (cm)	Kokonaisfosfori (mg kg^{-1})							
	Lohko 1		Lohko 2		Lohko 3		Lohko 4	
	S	K	S	K	S	K	S	K
0-5	1159	1089	1240	898	1451	1119	1620	1550
5-10	1144	1124	1226	930	1471	1154	1540	1470
10-20	1154	1124	1216	909	1400	1165	1590	1580
20-35	797	664	950	828	1185	868	1110	1310
35-60	460	582	603	582	746	603	1040	1020



Kuva 3.12. Maan fosforifraktiot suorakylvetyillä (S) ja kynnetyillä (K) näytepaikoilla. Hedleyn fraktiointi, liukoisimmat fraktiot (H_2O, $NaHCO_3$) pylväissä vasemmalla. Pi epäorgaaninen ja Po orgaaninen fosfori.

syvimmässä tutkitussa maakerroksessa (35-60 cm), todennäköisesti pinnasta tapahtuneen huuhtoutumisen seurauksena.

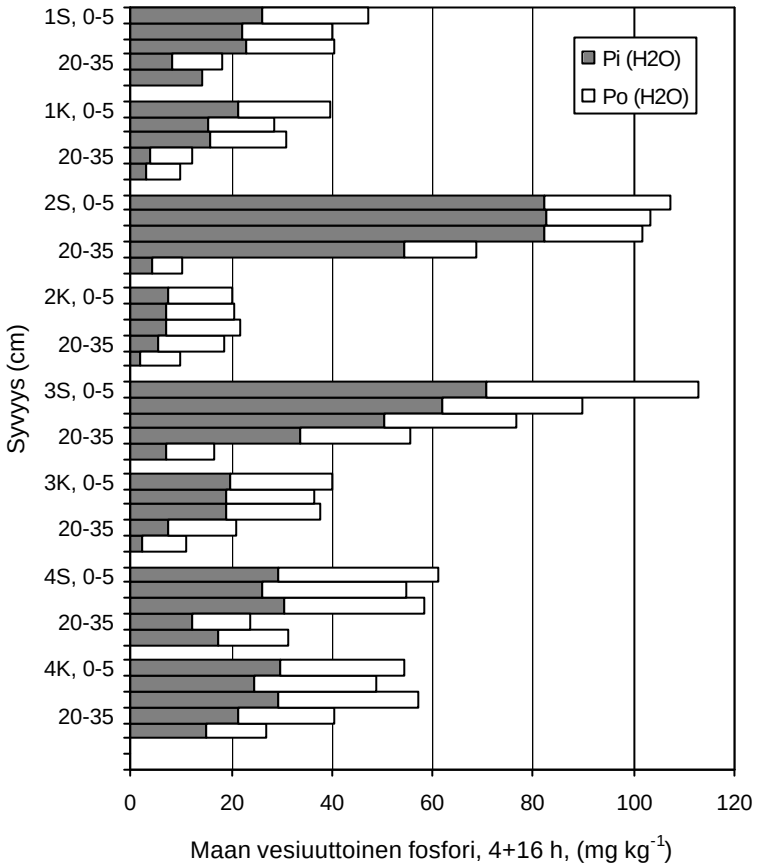
Orgaaninen fosfori muodosti 14–49 % (keskimäärin 30 %) maanäytteiden kokonaisfosforista ja oli pääosin emäkseen (NaOH) uuttuvaa hitaasti käyttökelpoiseksi tulevaa orgaanista fosforia (Kuva 3.12). Emäkseen uuttuvan orgaanisen fosforin pitoisuus oli suurempi lohkoparien 1 ja 2 kynnetyissä maissa kuin niiden suorakylvetyillä vertailulohkoilla, kun taas lohkoparien 3 ja 4 kohdalla eri tavoin muokatuissa maissa ei ollut tässä suhteessa eroa. Lohkoparien 2 ja 3 suorakylvetyissä maissa helppoliukoisen (labiilin, veteen ja $NaHCO_3$:iin uuttuvan) orgaanisen fosforin osuus oli maan pinnassa (0-5 cm) hieman suurempi kuin heti tämän kerroksen alapuolella. Myös Kanadassa Selles ym. (1999) havaitsivat suorakylvön kerryttäneen labiilia orgaanista fosforia maan pintakerrokseen (0-6 cm). Tässä tutkimuksessa havaitut erot labiilin orgaanisen fosforin osalta olivat kuitenkin niin pieniä, että niillä tuskin oli merkitystä fosforin huuhtoutumisen kannalta.

Fosforin rikastuminen pintaan

Tämän esiselvityksen aineistossa lievää fosforin kertymistä näytti tapahtuneen maan pintaan (0-5 cm) vain pisimpään suorakylvössä olleen lohkoparin 3 suorakylvetyllä maalla. Viljavuusfosforiluku oli noussut arvoon 69 mg l^{-1}, kun se oli pintakerroksen alapuolella 59-60 mg l^{-1} (Taulukko 3.1). Kertyminen koski epäorgaanisen fosforin osalta vesiliukoista ja $NaHCO_3$ –uuttoista labiilia fosforia ja orgaanisen fosforin osalta vesiliukoista fraktiota (Kuvat 3.13 ja 3.14). Fosforin kertyminen ohueen pintakerrokseen nostaa pintavalunnan liukoisen fosforin pitoisuutta (mm. Turtola & Yli-Halla, 1999) ja lisää fosforikuormitusta etenkin, jos merkittävä osa valunnasta jää imeytymättä syvemmälle maahan. Tässä tutkimuksessa kaikkein pisimpään suorakylvössä olleen lohkoparin 3 maalla epäorgaanisen fosforin kertymistä oli tapahtunut niin paljon, että kertyminen aiheuttaa fosforin kuormitusriskin lisääntymisen. Todelliseen kuormituksen suuruuteen vaikuttaa maan labiilin fosforin pitoisuuden lisäksi lohkolta tuleva pintavalunnan määrä.

Fosforin kyllästysaste

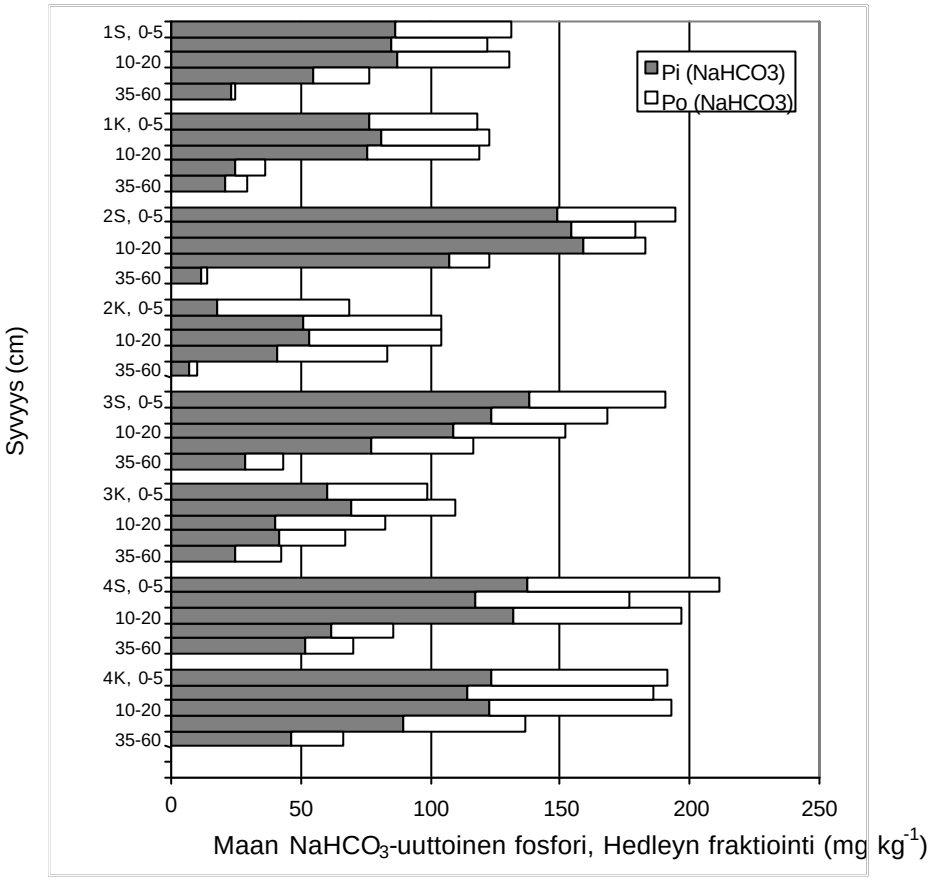
Maahan kertyneen fosforin määrän lisäksi maan fosforinpidätyskyky on fosforin pidättymisen ja huuhtoutumisen kannalta keskeinen tekijä. Maan fosforinpidätyskyvyn mittarina käytetään yleisesti oksalaattiin uuttuvan alumiinin ja raudan määrää maassa. Mitä suurempia ovat alumiinin ja raudan pitoisuudet maassa, sitä enemmän maa pystyy sitomaan helppoliukoista fosforia ja pidättämään sitä huuhtoutumiselta. Suhteuttamalla maahan pidättyneen



Kuva 3.13. Vesiuuttoinen epäorgaaninen (Pi) ja orgaaninen fosfori (Po) suorakylvetyillä (S) ja kynnetyillä (K) lohkoilla. Tulokset ovat kahden peräkkäisen vesiuuton (4 ja 16 tuntia) aikana yhteensä uuttuneita määriä.

fosforin ainemäärä oksalaattiin uuttuvien alumiinin ja raudan ainemäärien summaan, saadaan arvio maan fosforikyllästysasteesta.

Pyhäjärven alueen näytepaikoilla maa sisälsi 0-60 cm:n kerroksessa oksalaattiuuttoista alumiinia ja rautaa keskimäärin seuraavasti (? mmol kg^{-1}, suluissa vaihteluväli eri maakerroksissa): 1S 158 (130-176), 1K 134 (116-143), 2S 107 (94-147), 2K 123 (118-127), 3S 157(150-167) ja 3K 274 (235-310). Muissa vertailupareissa fosforinpidätyskyvyn voidaan olettaa olevan keskenään samansuuruinen suorakylvetyillä ja kynnetyillä lohkoilla, mutta vertailuparin 3 maan fosforinsitomiskyky oli suorakylvetyllä lohkolla huomattavasti pienempi kuin kynnetyllä lohkolla. Näin ollen fosforin liukoisuus ja huuhtoutumisherkkyys on jo alkutilanteessa ollut suurempaa tällä maalla.



Kuva 3.14. Kasveille käyttökelpoisen ($NaHCO_3$-uuttoisen) fosforin määrä suorakylvetyillä (S) ja kynnetyillä (K) näytepaikoilla. Pi epäorgaaninen ja Po orgaaninen fosfori.

Huuhtoutumisherkkyys on kasvanut, kun maahan on vielä lisätty määrällisesti paljon fosforia. Aurajoen maassa (lohkopari 4, 0-20 cm) oli vastaavasti oksalaattiuuttoista alumiinia ja rautaa seuraavasti: 4S 282 (260-304) ja 4K 252 (248-256) mmol kg^{-1}. Aurajoen maa sisälsi huomattavasti enemmän rautaa kuin muiden näytepaikkojen maat lukuun ottamatta paikkaa 3K.

Lohkoparien 1 ja 4 sisällä fosforin kyllästysaste oli hyvin samansuuruinen. Sen sijaan pareissa 2 ja 3 se oli suorakylvetyissä maissa huomattavasti kynnettyjä korkeampi, myös 20-35 cm:n maakerroksessa (Taulukot 3.11 ja 3.12). Näissä tapauksissa kyllästysaste oli kohonnut ainakin entisen kyntökerroksen alarajaan asti, sillä aikaisempi muokkaussyvyys lohkoparin 2 suorakylvetyllä maalla oli enintään 30 cm ja parin 3 maalla 25 cm. Fosforin kyllästysasteet ennakoivat fosforin huuhtoutumisriskin kohonneen varsinkin parien 2 ja 3 nyt suorakylvössä

Taulukko 3.11. Fosforin kyllästysaste eri maakerroksissa. Kyllästysaste arvioitu suhteuttamalla alumiinin ja raudan sitoman fosforin ainemäärä (mmol, Changin ja Jacksonin fraktiointi) oksalaattiuuttoisen alumiinin ja raudan summaan (0.5 x ? mmol). S, suorakylvö, K, kyntö.

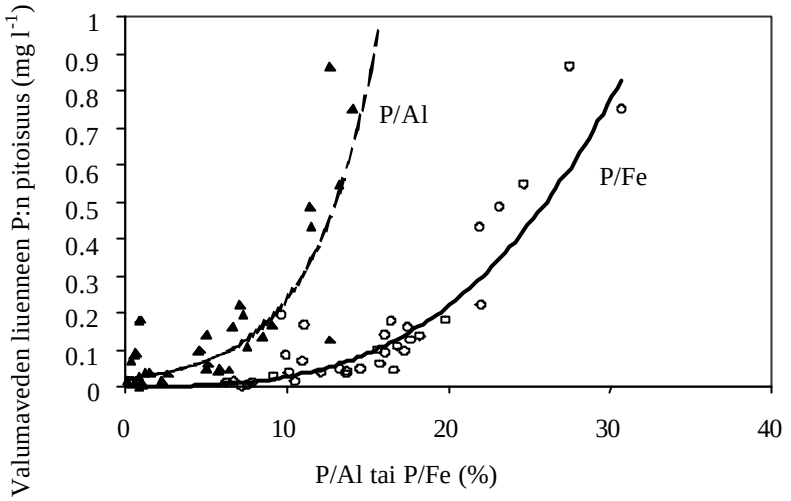
Maakerros (cm)	Fosforin kyllästysaste (%)							
	Lohko 1		Lohko 2		Lohko 3		Lohko 4	
	S	K	S	K	S	K	S	K
0-5	16	15	34	9,8	25	9,8	15	16
5-10	17	14	32	11	26	10	15	16
10-20	16	15	31	11	23	10	17	17
20-35	10	4,6	22	8,0	18	7,0		
35-60	5,2	7,0	2,0	1,6	6,0	4,4		

Taulukko 3.12. Fosforin kyllästysaste maan pintakerroksessa. Kyllästysaste arvioitu aktiivisen alumiinin (P/Al, Mehlich3-uutto) ja raudan (P/Fe, sitraatti-askorbaatti-bikarbonaattiuutto) suhteen.

Maakerros (cm)	Fosforin kyllästysaste (%)					
	Lohko 1		Lohko 2		Lohko 3	
	S	K	S	K	S	K
P/AL						
0-5	14	13	40	7,3	29	8,1
5-10	13	12	38	7,4	28	8,5
P/Fe						
0-5	20	18	36	10	22	11
5-10	20	18	35	10	24	11

olevilla mailla. Näiltä lohkoilta tulevan valuman laadusta ei ole aiempaa tietoa, mutta esimerkiksi Tohola mmin huuhtoutumiskentällä fosforikyllästysasteen arvo 17 % vastasi liuenneen ortofosfaattifosforin keskipitoisuutta 0,6 mg l^{-1} kevätkaudella tulleessa pintavalunnassa (Turtola & Yli-Halla, 1999). Holford:in ym. (1997) mukaan fosforin huuhtoutuminen pintamaasta syvempiin maakerroksiin oli huomattavaa fosforikyllästyksellä 17-38 %. Hollannissa kyllästysasteen arvoa 25 % on pidetty kriittisenä fosforin kulkeutumiselle pintavalunnassa ja syvemmälle maaperään (Van der Zee ym., 1987).

Suomalaisilla mailla fosforikyllästysasteen ja valumaveden liuenneen fosforin pitoisuuden yhteyttä on tarkasteltu sadesimulaatioiden ja yksinkertaisten Mehlich 3 ja CAB –uuttojen avulla (Uusitalo & Aura, julkaisematon aineisto). Kuvassa 3.15 on esitetty alumiinin ja raudan oksidien fosforikyllästyksen kasvun vaikutus valuman liuenneen fosforin pitoisuuteen sadesimulaatiossa. Kuvan 3.15 mukaan alumiinin kyllästysasteen ylittäessä 10 % ja raudan oksidien kyllästysasteen ylittäessä noin 20 % alkaa valumaveden fosforipitoisuus nousta jyrkästi.



Kuva 3.15. Valumaveden liuenneen fosforin pitoisuus sadesimulaatioissa, joissa eri maita sadetettiin kevätvalumaa vastaavissa olosuhteissa (Uusitalo & Aura, julkaisematon aineisto).

Jälkimmäinen arvo on sama kuin kanadalaisille maille ehdotettu raja-arvo (20 %), jonka ylittyminen merkitsee suurta riskiä sille, että fosforia alkaa huuhtoutua salaojavalunnan mukana (Beauchemin ym., 2003). Kun valumaveden fosforipitoisuus kasvaa epälineaarisesti, maahan lisätystä fosforista suhteellisesti suurempi osa huuhtoutuu valumaveteen maan fosforikyllästyksen ylittäessä raja-arvon.

Tämän tutkimuksen aineistolle kuvan 3.15 menetelmiä käyttäen määritetyt alumiinin ja raudan kyllästysasteet (Taulukko 3.12) tukevat taulukon 3.11 tuloksista vedettyjä johtopäätöksiä huuhtoumariskin kasvun suhteen. Erityisesti lohkoparissa 2 ja 3 suorakylvölohkojen maat sisältävät huomattavan paljon fosforia suhteessa fosforia pidättävien yhdisteiden määrään ja näiden lohkojen valumavedet oletettavasti sisältävät paljon liuennutta fosforia.

3.2.7 Fosforin kulkeutuminen sadesimuloinnissa

Liuennut fosfori pintavalunnassa

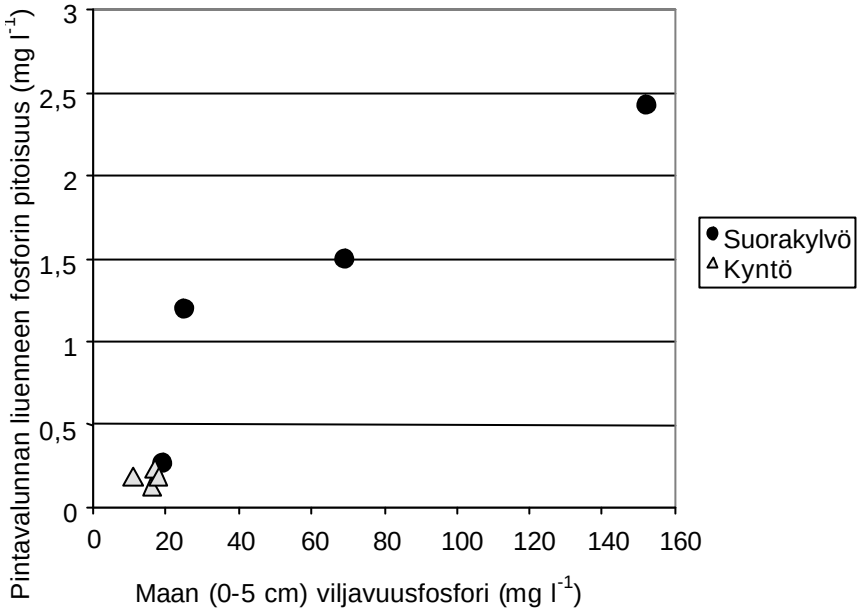
Liuenneen fosforin kulkeutumiseen vaikuttivat eniten pintamaan fosforitila ja pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta. Mitä suurempi oli pintamaan helposti liukenevan fosforin pitoisuus, sitä korkeammaksi nousi pintavaluntaveden liuenneen ortofosfaattifosforin pitoisuus (Kuvat 3.16 ja 3.17). Lohkoparin 3 suorakylvetyllä maalla pintavalunnan fosforipitoisuus kohosi myös suorakylvön seurauksena maan pintakerrokseen rikastuneen fosforin vuoksi (Taulukko 3.1).

Maan fosforitilan ja valumaveden liuenneen fosforin välinen yhteys oli todennäköisesti samansuuntainen suorakylvössä ja kynnössä. Esimerkiksi Uusitalon & Janssonin (2002) tutkimuksessa, jonka aineisto käsitti sekä vuosittain muokattuja maita että monivuotisia nurmia, yhteys viljavuustutkimuksen P-luvun ja vesilietoksen liuenneen fosforin pitoisuuden välillä oli lineaarinen. Myös Turtolan & Yli-Hallan (1999) mittauksissa oli suoraviivainen yhteys nurmipeitteisen maan pintakerroksen fosforitilan ja pintavaluntaveden liuenneen fosforin pitoisuuden välillä. Lohkoparin 1 suorakylvetyllä maalla pintavalunnan ortofosfaattipitoisuus nousi kuitenkin korkeammaksi kuin pelkän maan helppoliukoisen fosforin pitoisuuden perusteella näyttäisi olevan mahdollista. Koska juuri muutamissa näistä näytteistä maan pinnalla havaittiin tuoreita lierojen ulosteita, on mahdollista, että ulosteesta liukeneva fosfori oli ainakin osasyynä korkeisiin pitoisuuksiin. Myös kasviaineksesta liukeneva fosfori on saattanut nostaa valunnan fosforipitoisuutta.

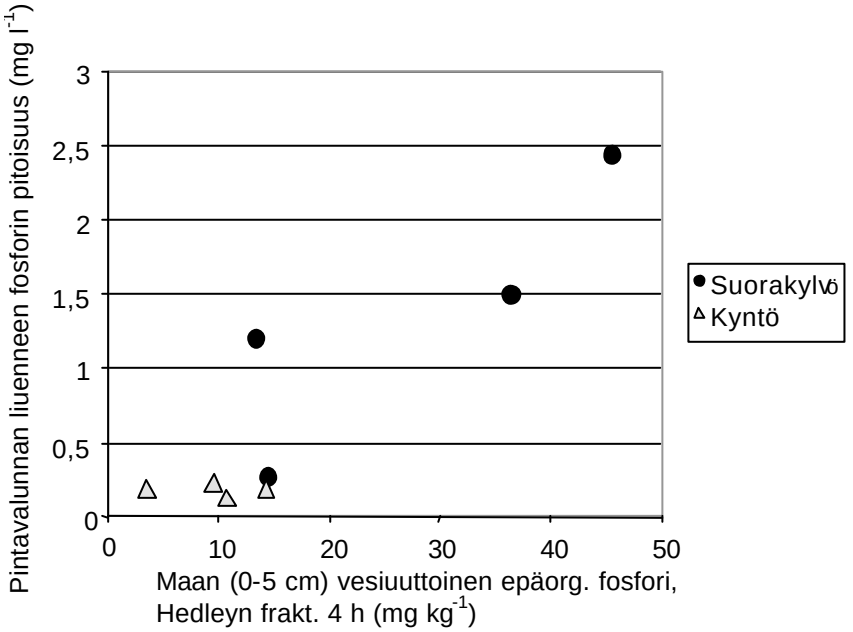
Liuennut fosfori alavalunnassa

Kun vesi liikkui maan läpi, maan pinnalta valuntaveteen liuennut fosfori suodattui lähes poikkeuksetta hyvin tehokkaasti (Kuva 3.18). Tämän vuoksi pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta muodostui ratkaisevaksi tekijäksi kuormituksen kannalta. Vain kahdessa tapauksessa kahdeksasta (lohkoparin 2 suorakylvö ja lohkoparin 4 kyntö) maan läpi tulleen valunnan kuljettamalla fosforilla oli merkitystä liuenneen fosforin kokonaiskuormituksen kannalta (Taulukko 3.13).

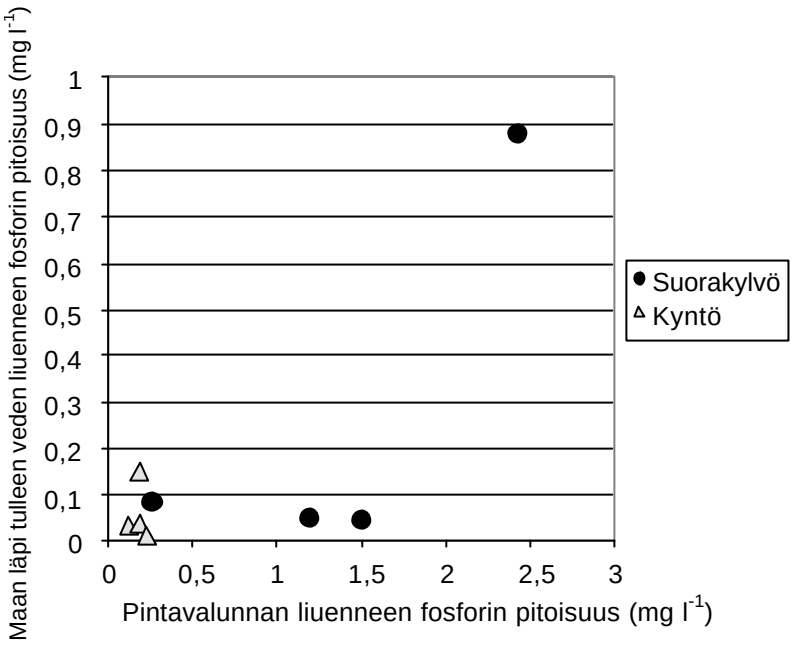
Tämän tutkimuksen tulokset eivät viitanneet vielä mm. Cox:in ym. (2000) tai Shipitalo:n ym. (2000) esittämään tilanteeseen, jossa pitkäaikainen suorakylvö voisi lisätä fosforin ja myös pestisidien kulkeutumista maaprofiilin läpi jatkuvia huokosia pitkin. Tosin edellä mainittu tilanne syntyisi todennäköisimmin vain välittömästi esimerkiksi pintalannoituksen jälkeen sattuvan rankan sateen aikana. Pellolla myös salaojakaivannot ja salaojiin johtavat lierokäytävät (Nuutinen &



Kuva 3.16. Pintavalunnan liuenneen ortofosfaattifosforin pitoisuuden riippuvuus maan pintakerroksen (0-5 cm) viljavuusfosforiluvusta.



Kuva 3.17. Pintavalunnan liuenneen ortofosfaattifosforin pitoisuuden riippuvuus maan pintakerroksen (0-5 cm) vesiuuttoisen fosforin pitoisuudesta.



Kuva 3.18. Liuenneen ortofosfaattifosforin keskimääräinen pitoisuus pintavalunnassa ja maan läpi tulleessa valunnassa. Sadesimulointi suorakylvettyjen ja kynnettyjen lohkojen maaprofiileille.

Taulukko 3.13. Liuenneen ortofosfaattifosforin (DRP) keskimääräinen pitoisuus ja kulkeutuminen sadesimuloinnissa.

	DRP:n pitoisuus (mg l^{-1})			DRP:n kulkeutuma (mg)		
Lohko	Pinta-valunta	Ala-valunta	Pintaval./ Alaval.	Pinta-valunta	Ala-valunta	Yhteensä
1, Suorakylvö	1,2	0,052	23	2,5	0,05	2,6
1, Kyntö	0,13	0,034	3,8	0,27	0,03	0,3
2, Suorakylvö	2,4	0,88	2,7	3,2	1,2	4,4
2, Kyntö	0,19	0,039	4,9	0,28	0,07	0,4
3, Suorakylvö	1,5	0,045	33	4,6	0,05	4,7
3, Kyntö	0,23	0,011	21	0,10	0,03	0,1
4, Suorakylvö	0,27	0,084	3,2	0,56	0,06	0,6
4, Kyntö	0,19	0,15	1,2	0,24	0,19	0,4

Butt, 2003) voivat lisätä ja nopeuttaa aineiden kulkeutumista pellon pinnalta ojavesiin. Tässä tutkimuksessa veden oikovirtauksia ja aineiden liikkumista maaprofiilin läpi saattoivat vähentää menetelmälliset seikat, kuten joidenkin lierokäytävien katkeaminen näytelieriön seinämiin ja maan kasteleminen ennen sadesimulaatiota.

Liuenneen fosforin kuormitus

Lohkoparien 1 ja 4 maissa oli helposti liukenevaa fosforia niin samansuuruiset määrät suorakylvetyissä ja kynnetyissä näytteissä, että liuenneen fosforin kuormituksen määräsivät vain valunnan suuntautuminen ja muut muokkauksesta aiheutuneet tekijät. Parissa 4 suorakylvetty maa tuotti enemmän pintavaluntaa (keskimäärin 75 % kokonaisvalunnasta, kynnetyssä 50 %, Kuva 3.10). Samalla pintavalunnan liuenneen fosforin pitoisuus nousi kynnettyä maata suuremmaksi huolimatta varsin yhteneväisestä maan fosforitilasta. Liuenneen fosforin kokonaiskuormitukseksi saatiin suorakylvettyä maata edustavista lieriöistä 0,6 g, kun vastaava kynnetyn maan kuormitus oli 0,4 g (Taulukko 3.13).

Lohkoparissa 1 muokkaus ei vaikuttanut valunnan suuntautumiseen, mutta todennäköisesti yllä kuvatun mukaisesti lierojen ulosteet saattoivat olla osasyynä pintavalunnan tuomaan suureen kuormaan. Yhteensä kuormitusta syntyi suorakylvetyltä maalta 2,6 g ja kynnetyltä 0,3 g. Vaikka tässä tutkimuksessa ei saatu tarkkaa kuvaa siitä, kuinka suorakylvöön siirtyminen voi muuttaa liukoisen fosforin kuormitusta, monet kuormitukseen vaikuttavat tekijät tulivat havainnollisesti esille. Yksi tärkeimmistä oli pohjamaan kyky pidättää valumaveden fosforia ja pienentää kuormitusta, jos huomattava osa kokonaisvalunnasta imeytyy maahan. Suomalaisten tutkijoiden (Turtola & Pitkänen, 1998) lisäksi esimerkiksi englantilaiset Addiscott & Thomas (2000) ovat korostaneet veden maahan imeytymisen merkitystä fosforin pidättymisessä. Samalla he ovat korostaneet muokkauksen roolia veden imeytymisessä toisaalta maan pinnan epätasaisuuden synnyttäjänä ja toisaalta maan huokoisuuteen vaikuttavana tekijänä. Fosforin pidättymistä erisuuruisen aikaisemman fosforilannoituksen seurauksena voidaan havainnollistaa esimerkiksi laskemalla Hedleyn epäorgaanisten fosforifraktioiden summien erotukset vertailupareissa 2 ja 3 suorakylvetyn ja kynnetyn maan välillä kerroksessa 35-60 cm (25 cm paksu kerros, arvioitu tilavuuspaino 1,2 kg dm^{-3}). Suorakylvettyjen maiden jankkokerrokset olisivat tähän mennessä pidättäneet seuraavat lisämäärät fosforia kynnettyihin maihin verrattuna: 2S: 69 kg ja 3S: 465 kg hehtaaria kohti. Määrät ovat merkittäviä, sillä liuennutta fosforia kulkeutuu pelloilta yleensä 0,2-0,6 kg ha^{-1} ja fosforia kokonaisuudessaan alle 1,5 kg ha^{-1} vuodessa.

Maa-ainekseen sitoutunut fosfori

Eroosioaineksen suodattumisen myötä myös partikkelifosforin pitoisuus pieneni veden kulkiessa maan läpi (Taulukko 3.14). Suodattumisaste oli eroosioaineksen tapaan suurempi karkeammissa maissa, joskin ero karkeiden ja hienojakoisempien maiden välillä oli vieläkin selvempi. Kun lohkoparien 1 ja 3 karkeissa maissa partikkelifosforista suodattui vähintään 90 %, Aurajoen kentällä

Taulukko 3.14. Partikkelifosforin (Part.P) keskimääräinen pitoisuus valunnassa ja valunnan sisältämässä eroosioaineksessa sadesimuloinnin aikana.

	Part.P:n pitoisuus (mg l^{-1})			Part.P:n pitoisuus eroosioaineksessa (mg kg^{-1})		
Lohko	Pinta-valunta	Ala-valunta	Pintaval./ Alaval.	Pinta-valunta	Ala-valunta	Yhteensä
1, Suorakylvö	2,0	0,13	15	2,5	0,37	2,2
1, Kyntö	1,4	0,14	10	1,8	0,43	1,7
2, Suorakylvö	0,88	0,46	1,9	2,3	1,1	1,6
2, Kyntö	0,77	0,54	1,4	1,1	1,2	1,1
3, Suorakylvö	1,3	0,10	13	2,6	-	1,8
3, Kyntö	2,0	0,15	13	1,7	4,0	2,0
4, Suorakylvö	1,2	0,92	1,3	4,0	1,9	3,1
4, Kyntö	1,8	1,5	1,2	1,7	2,1	1,9

(näytepari 4) suodattui enimmillään vain neljäsosa partikkelifosforista. Jokioisten savimaan huuhtoutumiskentällä tehdyissä mittauksissa ja sadesimulaatiossa (Turtola & Pitkänen, 1998) partikkelifosforin suodattuminen oli samaa suuruusluokkaa kuin tässä tutkimuksessa Aurajoen kentällä.

Suorakylvetyiltä mailta pintavaluntaan irronnut eroosioaines oli fosforipitoisempaa kuin kynnetyillä mailla (Taulukko 3.14, Part.P:n pitoisuus eroosioaineksessa). Tämä johtui todennäköisesti pääosin suorakylvettyjen maiden korkeammasta fosforitilasta (lohkoparit 2 ja 3). Toisaalta myös lohkopareissa 1 ja 4 mitattiin samantapainen ero, vaikka niiden fosforitilat olivat lähellä toisiaan. Siten eroosioaineksen fosforipitoisuus näytti käyttäytyvän samantapaisesti kuin liuenneen fosforin pitoisuus, joka myös kohosi lohkoparien 1 ja 4 suorakylvetyillä mailla korkeammaksi kuin mitä maan fosforitila näytti ennustavan. Alavalunnassa eroosioaineksen fosforipitoisuudet olivat samalla tasolla kynnetyissä ja suorakylvetyissä näytteissä, mikä saattaa johtua maan sisäisestä eroosiosta. Kaiken kaikkiaan partikkelifosforin kuormitus oli suorakylvetyillä mailla karkeammissa maissa suurempi ja hienojakoisemmissa maissa pienempi kuin kynnetyillä mailla (Taulukko 3.15). Lohkoparien sisäiset erot olivat siten samat kuin eroosiossa.

Vain osa partikkelifosforista on vesistöissä käyttökelpoista ja siten rehevöittävää. Partikkelifosforin käyttökelpoisuusarviot vaihtelevat noin 5-10 prosentista (Ekholm, 1994, Uusitalo & Ekholm, 2003) aina noin 35–65 prosenttiin (hapettomat olot, Uusitalo ym., 2003) ja käyttökelpoisuus kasvaa maan fosforipitoisuuden kasvaessa. Partikkelifosforin todellinen kuormittavuus vaikuttaa olennaisesti siihen, miten suuri merkitys eroosion estämisellä on vesistöjen rehevöitymisen kannalta. Esimerkiksi Turtolan ym. (2003)

Taulukko 3.15. Partikkelifosforin (Part.P) ja kokonaisfosforin (Kok.P) kulkeutuminen sadesimuloinnissa.

Lohko	Part.P:n kulkeutuminen (g)			Kok.P:n kulkeutuminen (g)		
	Pinta-valunta	Ala-valunta	Yhteensä	Pinta-valunta	Ala-valunta	Yhteensä
1, Suorakylvö	4,3	0,10	4,4	6,8	0,15	7,0
1, Kyntö	2,8	0,10	2,9	3,1	0,13	3,2
2, Suorakylvö	1,1	0,70	1,8	4,3	1,9	6,2
2, Kyntö	1,1	1,0	2,1	1,4	1,1	2,5
3, Suorakylvö	4,0	0	4,0	8,6	0,05	8,7
3, Kyntö	0,89	0,40	1,3	1,0	0,43	1,4
4, Suorakylvö	2,4	0,65	3,1	3,0	0,70	3,7
4, Kyntö	2,3	1,9	4,2	2,5	2,1	4,6

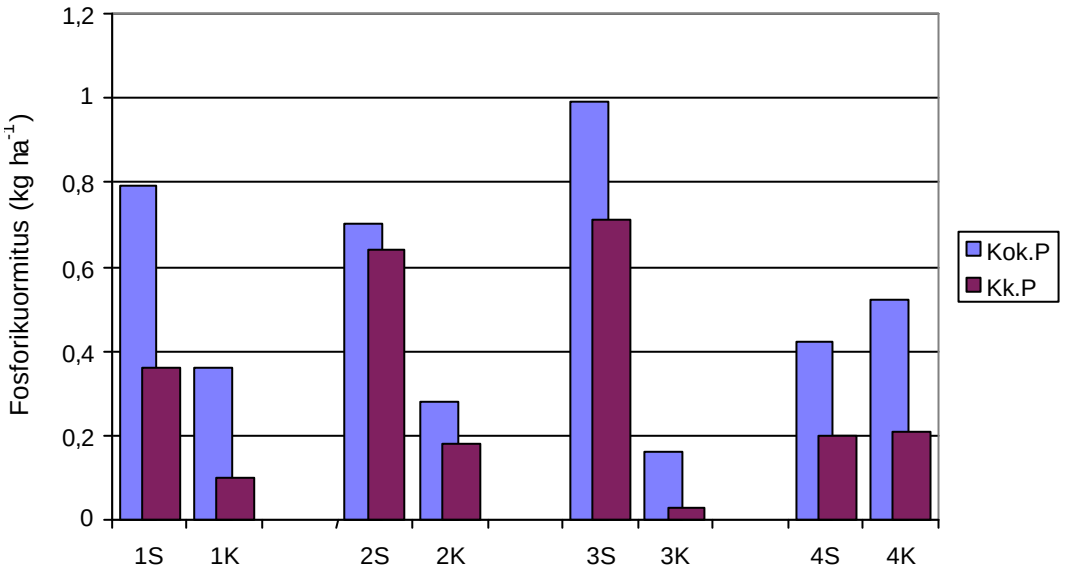
tutkimuksessa muokkauksen keventäminen (matala kultivointi, sängelle jättäminen) ei vähentänyt savimaan fosforikuormitusta kyntöön verrattuna, kun liuenneen fosforin lisäksi noin 40 % partikkelifosforin kuormituksesta arvioitiin potentiaalisesti käyttökelpoiseksi hapettomissa oloissa. Tämän tutkimuksen sadetuskokeen aineiston keskiarvot olivat edellä kuvatun kaltaisia: hapellisissa oloissa vapautuva osuus partikkelifosforista oli 7 % (vaihteluväli 0–25 %), kun taas hapettomissa oloissa voisi partikkelifosforista vapautua noin 50 % (17–100 %). Koska partikkelifosforin käyttökelpoisuusosuuksien arviointimenetelmät vaativat suhteellisen runsaasti riippumattomia näytteitä, voitiin tämän selvityksen aineistosta tehdä ainoastaan alustava arvio käyttökelpoiseksi muuttuvan partikkelifosforin kuormituksesta.

Kokonaisfosforin kuormitus

Aurajoen kentällä suorakylvö vähensi pintavalunnan eroosioainespitoisuutta niin paljon, että myös kokonaisfosforikuormitus jäi kynnettyä maata pienemmäksi huolimatta pintavalunnan runsastumisesta, eroosioaineksen suuremmasta fosforipitoisuudesta ja liuenneen fosforin kuormituksen kasvusta (Taulukko 3.16). Muissa lohkopareissa yksi tai useampi edellä mainituista tekijöistä aiheutti sen, että kokonaisfosforikuormitus oli kynnetyillä mailla suorakylvettyjä pienempi. Kun kuormitusta arvioitiin ottamalla huomioon potentiaalisesti vesistöissä käyttökelpoiseksi tuleva osa kokonaisfosforista, kynnettyjen ja suorakylvettyjen välinen suhteellinen ero kasvoi, paitsi Aurajoella, jossa kuormituksessa ei ollut eroa eri muokkauskäsittelyjen välillä (Kuva 3.19).

Taulukko 3.16. Yhteenvetotaulukko: Eroosio ja partikkelifosforin (Part.P), liuenneen ortofosfaattifosforin (DRP) ja kokonaisfosforin (Kok.P) kulkeutuminen sadesimulaatioissa ja laskettuna hehtaaria kohti.

	Eroosio		Part.P		DRP		Kok.P	
Lohko	Simul. (g)	kg ha^{-1}	Simul. (mg)	kg ha^{-1}	Simul. (mg)	kg ha^{-1}	Simul. (mg)	kg ha^{-1}
1, Suorakylvö	2,0	230	4,4	0,50	2,6	0,29	7,0	0,79
1, Kyntö	1,8	200	2,9	0,33	0,3	0,034	3,2	0,36
2, Suorakylvö	1,1	130	1,8	0,20	4,4	0,50	6,2	0,70
2, Kyntö	1,8	210	2,1	0,24	0,4	0,038	2,5	0,28
3, Suorakylvö	2,2	250	4,0	0,46	4,7	0,53	8,7	0,99
3, Kyntö	0,6	70	1,3	0,14	0,1	0,015	1,4	0,16
4, Suorakylvö	0,9	110	3,1	0,35	0,6	0,070	3,7	0,42
4, Kyntö	2,2	250	4,2	0,47	0,4	0,049	4,6	0,52



Kuva 3.19. Kokonaisfosforin (Kok.P, takana) ja vesistössä potentiaalisesti käyttökelpoiseksi tulevan fosforin (Kk.P, edessä) kuormitus suorakylvettyjen (S) ja kynnettyjen (K) maanäytteiden sadesimulaatiossa. Vertailuparien väliset erot eivät ole yksinomaan erilaisesta muokkauksesta johtuvia, vrt. teksti.

Sadesimulaatio kuormituksen arviointimenetelmänä

Sadesimulaatiossa arvioitiin kuormituseroja syksyn sadetilanteessa, kun maa on roudaton ja lumeton. Koska simulaatiossa käytetty sateen intensiteetti (10 mm h^{-1}) oli Suomessa yleisesti esiintyvien intensiteettien ylärajalla (5-10 mm h^{-1},

Kuusisto 1980), simulaation voidaan katsoa tältä osin vastaavan todellisuutta kohtalaisen hyvin. Lisäksi lieriönäytteiden kostuttaminen ennen simulaatiota varmisti, että maaprofiilien alkutilanne muistutti tyypillisesti syksyllä maassa vallitsevia olosuhteita. Simulaatio ei kuitenkaan vastannut yhtä hyvin kevään kuormitustilannetta, jossa maan pinta on vaihtelevassa määrin roudassa ja lumen peittämänä. Keväällä myös valumavesi on peräisin suurelta osin lumen sulamisesta ja lisäksi maan lämpötila on lähellä nollaa. Näiden eroavaisuuksien vuoksi sadesimulaation kuormitustulokset voivat poiketa huomattavastikin pellolla mitatuista.

Turtolan & Pitkäsen (1998) tekemässä kynnetyn maan ja sänkimaan sadesimulaatiossa (sadetus 50 mm, intensiteetti 11 mm h^{-1}) valumaveden fosforipitoisuudet vastasivat varsin hyvin Jokioisten huuhtoutumiskentällä kahden vuoden kuluessa mitattuja pitoisuuksia. Sänkimaalla myös valunnan suuntautuminen pintavalunnaksi ja alavalunnaksi oli lähellä pellolla mitattua. Sen sijaan kynnetyllä maalla sadesimulaatio tuotti suhteellisesti enemmän pintavaluntaa, mikä kasvatti muokkauskäsittelyjen välisen kuormituseron simulaatiossa suuremmaksi kuin kentällä mitattiin. Syynä saattoi olla toisaalta kynnetyn maan pinnan liettyminen sadesimulaatiossa, mikä esti veden imeytymistä. Lisäksi huuhtoutumiskentällä suuri osa salaojastoon kulkeutuvasta vedestä imeytyi ojiin hyvin vettä läpäiseviä salaojakaivantoja pitkin, kun taas sadesimulaatiossa käytetyt näytteet oli otettu muualta kuin kaivantojen kohdalta.

3.3 Yleinen tulosten tarkastelu

Koelohkot ja niiden ominaisuudet

Koelohkojen valinta onnistui maalajin osalta, sillä vertailuparien lohkojen maalajissa ei ollut merkittävää eroa. Muiden maan ominaisuuksien osalta ei onnistuttu yhtä hyvin. Pyhäjärven ympäristössä viljellään paljon riviviljelykasveja, minkä vuoksi suorakylvettyjen lohkojen läheltä oli vaikeaa löytää kynnettyjä, pelkästään viljanviljelyssä olleita lohkoja. Lohkoparin 1 kynnetty ja lohkoparin 3 suorakylvetty lohko olivat selvästi multavampia kuin vertailulohkot. Lohkojen 2 ja 3 parien maan fosforipitoisuudet taas poikkesivat toisistaan merkittävästi. Erot olivat niin suuria, etteivät ne voineet kokonaan johtua eroista muokkauksessa. Lohkoparien 2 ja 3 kynnetyt alueet olivat suuremman lohkon reunaosaa, eikä niitä oltu ilmeisesti viljelty yhtä intensiivisesti kuin muuta lohkoa. Siten lohkopareissa 2 ja 3 eroja maan fosforitilassa ja fosforin huuhtoutumisessa ei tule tulkita yksinomaan suorakylvöön siirtymisestä johtuvaksi.

Suorakylvössä pintamaata ei sekoiteta, jolloin kasvustojäte jää maan pintaan. Lisäksi maa lannoitetaan yleensä samaan syvyyteen vuodesta toiseen. Nämä tekijät muuttavat aineiden kertymistä maaprofiilin eri osissa. Suorakylvetyssä maassa eloperäinen aines oli jakautunut 0-20 cm:n kerroksessa epätasaisemmin kuin kynnetyssä maassa. Tutkimuslohkoilla suorakylvetyn maan orgaanisen hiilen pitoisuus oli 0-5 cm:n kerroksessa yleensä suurempi kuin syvemmällä. Kynnetyssä maassa erot kerrosten välillä olivat pieniä suorakylvöön verrattuna. Tulos tukee aiempia kivennäismailla tehtyjen tutkimusten tuloksia (Tebrügge & Düring, 1999, VandenBygaart ym., 1999b). Kotimaisissa kevennetyn muokkauksen tutkimuksissa on todettu, että sänkimuokatun (muokkaussyvyys 10-15 cm) kivennäismaan orgaanisen hiilen pitoisuus oli 0-5 cm:n kerroksessa selvästi suurempi kuin kynnetyn (kyntösyvyys 20-25 cm) kuuden koevuoden jälkeen (Pitkänen, 1988).

Lohkoparin 3 suorakylvettyä maata lukuun ottamatta suorakylvö ei näyttänyt vaikuttaneen merkittävästi maan helppoliukoisen fosforin pitoisuuteen pintamaan (0-20 cm) eri kerroksissa. Tulos oli sikäli odotusten mukainen, että fosforia oli rikastunut pintaan juuri pisimpään suorakylvössä olleella lohkolla. Toisaalta aikaisemmat tutkimustulokset antoivat odottaa jonkinasteista fosforin kertymistä myös muilla suorakylvetyillä mailla. Esimerkiksi Pekrunin ym. (2003) yhteenvedon mukaan eri puolilla maailmaa tehdyissä tutkimuksissa (8 kpl, suorakylvöä harjoitettu 5-16 vuotta) fosforia oli rikastunut maiden pintakerrokseen (0-5 cm) kaikissa tapauksissa kynnettyihin maihin verrattuna. Fosforia kertyi myös sänkimuokatun maan pintakerrokseen, kun muokkaussyvyys madaltui 10-15 cm kyntösyvyyteen verrattuna (Pitkänen, 1988, Børresen & Njøs, 1993). Toisaalta Comia et al. (1994) eivät todenneet fosforin kertymistä sänkimuokatussa hiuemaassa verrattuna kyntöön.

Maan huokosrakenteen muutos

Suorakylvettyjen lohkojen ruokamultakerros oli selvästi kynnettyä tiiviimpi. Tämä oli luonnollista, koska maa oli kynnetty juuri ennen näytteenottoa. Toisaalta, vaikka kynnettyjen maiden näytteet olisi otettu jo sängeltä, ero olisi ollut todennäköisesti saman suuntainen. Esimerkiksi Alakukku (julkaisematon tieto) totesi, että viisi vuotta suorakylvössä olleen maan penetrometrinen vastus oli ruokamultakerroksen alaosassa suurempi kuin kynnetyn maan, vaikka vastus mitattiin syksyllä maiden ollessa sänkenä. Suorakylvetyn maan tiiviys ei ole välttämättä haitallista, koska se parantaa maan kantavuutta ja vähentää suorakylvöä haittaavien ajourien muodostumista. Suorakylvömenetelmän onnistumisen edellytys on kuitenkin se, että tiivis maa on niin huokoinen, että vesi imeytyy märkään maahan ja kulkeutuu siinä nopeasti pinnasta syvemmälle.

Märän maan tulisi pystyä varastoimaan tilapäisesti kymmeniä millimetrejä sadevettä. Tämä maan ominaisuus tarvitaan, koska veden liikkuminen salaojiin kestää yleensä useita vuorokausia. Jos märällä maalla ei ole vedenvarastoimiskykyä ja vesi painuu siinä hitaasti pintakerroksesta syvemmälle, sadevettä kertyy helposti maan pinnalle ja muodostuu pintavaluntaa. Makrohuokoston tilavuus kuvaa märän maan kykyä varastoida hetkellisesti vettä. Nämä suurimmat huokoset ovat keskeisiä myös veden ja ilman kulkeutumiselle märässä maassa. Makrohuokosissa vesi kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta ja niistä ojitus poistaa vettä. Tässä hankkeessa kynnetyn maan makrohuokosto oli keskimäärin suurempi kuin suorakylvetyn maan etenkin ruokamultakerroksessa. Myös muissa tutkimuksissa suorakylvetyn maan makrohuokosto on ollut pienempi kuin muokatun maan (mm. Aura,1987, Tebrügge & Düring, 1999, Schjønning & Rasmussen, 2000).

Tulosten mukaan suorakylvöön siirtyminen ei parantanut kyllästetyn maan vedenjohtavuutta. Sekä mallitettaessa salaojaston toimintaa että tarkasteltaessa veden valuntasuhteita sadesimuloinnissa todettiin, että suorakylvö ei selkeästi vähentänyt pintavalunnan riskiä. Eroosion torjunnan sekä maa-aineksen ja fosforin suodattumisen kannalta olisi kuitenkin tärkeää, että vesi imeytyisi maahan eikä valuisi vesistöön pintaa pitkin. Suorakylvettäessä luonnon omien prosessien, etenkin maaperäeläinten ja juurten, olisi kyettävä luomaan maahan toimiva makrohuokosverkosto, joka varastoi hyvin vettä hetkellisesti ja johtaa sitä pinnasta syvemmälle. Ideaali makrohuokosto on sellainen, jossa vesi ehtii kulkeutuessaan olla vuorovaikutuksessa maamatriisin kanssa, eikä virtaa oikovirtauksena muutamassa suuressa huokosessa. Se, miten suorakylvössä voitaisiin vaikuttaa makrohuokoston muodostumiseen esimerkiksi viljelykierron avulla tai miten lierokannat saataisiin kasvamaan alhaisen lierotiheyden alueilla, edellyttää jatkotutkimusta.

Lierot auran korvaajina

Suorakylvettyjen maiden kyntöä korkeammat lieromäärät Pyhäjärven valuma-alueen maissa on yhteneväinen tulos monien aikaisempien havaintojen kanssa (esim. Shuster & Edwards, 2002, Tebrügge & Düring, 1999). Lierojen määrä alueen suorakylvetyissä maissa oli hyvin korkea: suurimmat lierotiheyksistä olivat yli kaksinkertaisia verrattuna korkeimpiin suomalaisissa peltomaissa aiemmin mitattuihin tiheyksiin. Suorakylvön vaikutus lieroyhteisön lajikokoonpanoon oli sekin varsin samantyyppinen kuin aiemmissa tutkimuksissa. Varsinkin suorakylvön kastelierokantojen kasvua suosiva vaikutus on havaittu useissa tutkimuksissa (Chan, 2001, Kladivko, 2001).

Suorakylvetyssä maassa lierojen kaivamat käytävät kompensoivat osaltaan mekaanisen kuohkeuttamisen puuttumista ja siltä osin lierojen runsastuminen muokkauksen päätyttyä on hyvin toivottava ilmiö. Lieroaktiivisuus voi lisäksi edesauttaa veden kulutusta kestävän mururakenteen muodostumista peltomaan pintaan (Edwards & Shipitalo, 1998), seikka jota tässä hankkeessa ei tutkittu.

Tulokset tukevat käsitystä lieronkäytävien maan vedenläpäisevyyttä tehostavasta vaikutuksesta sekä näkemystä käytävien merkityksen korostumisesta suorakylvetyssä maassa (Edwards & Shipitalo, 1998, VanVliet & Hendrix, 2003). Jo aiemmissa suomalaisissa, savimailla tehdyissä tutkimuksissa on todettu kyllästetyn maan vedenjohtavuuden kasvavan lierokäytävien pinta-alaosuuden kohoamisen myötä (Aura, 1990, Pitkänen & Nuutinen, 1995). Pitkänen & Nuutinen (1998) totesivat laboratoriomittauksissa, että hiesusavimaan K_{sat} korreloi positiivisesti värjäytyneiden lierokäytävien ja kastelierojen runsauden kanssa ja negatiivisesti pintavalunnan kanssa. Suorakylvössä usein runsastuvien kastelierojen maan pinnasta pystysuorina syvälle pohjamaahan ulottuvat käytävät ovat erityisen tehokkaita veden ja siihen liuenneiden aineiden oikovirtausreittejä (Edwards & Shipitalo, 1998). Salaojaputkien pintaan tai niiden välittömään läheisyyteen päättyvät kastelierojen käytävät voivat ilmeisesti johtaa hyvin nopeasti peltovesiä ojastoon ja edelleen vesistöihin (Nuutinen & Butt, 2003, Shipitalo ym., 2004).

Vaikka lierojen merkitystä voikin pitää pääsääntöisesti myönteisenä viljelymaan laadun kannalta, pelloilta tulevaa eroosiota ja huuhtoutumista ajatellen lierojen vaikutukset eivät aina ole yksiselitteisen myönteisiä. Lierojen ulosteet, joita voi kertyä huomattavan suuria määriä maan pintaan, kestävät tuoreina huonosti veden liettävää vaikutusta. Kun ulosteet sisältävät yleensä ympäröivää maata enemmän hienojakoista mineraalimaata ja liukoista fosforia, voivat pintaulosteet olla eroosioaineksen ja huuhtoutuvan fosforin lähteitä (Sharpley & Syers, 1976, Sharpley ym., 1979, Lee, 1985). Esimerkiksi suomalaisella hietapellolla peltolierojen tuoreiden pintaulosteiden ja viereisen maan (0-25 cm) viljavuusfosforin pitoisuudet olivat keskimäärin 46,2 ja 32,5 P mg l^{1} maata, vastaavasti (Erviö & Nuutinen, julkaisematon). Sade- ja sulamisvesien imeytymisellä maahan syviä lieronkäytäviä myöten voi silläkin olla kielteistä merkitystä silloin, kun veteen on liuennut runsaasti aineita, joiden nopea oikovirtaus pohjaveteen ja salaojiin ei ole toivottavaa (esim. Shipitalo & Gibbs, 2000). Lierojen tehokkuus suorakylvömaan pinnalle kertyvien korjuutähteiden kuluttajina on hyödyllistä kasvinjätteiden multaamisen, hajoamisen, ravinteiden kierron ja myös kylvön teknisen onnistumisen kannalta. Toisaalta se johtaa maan

pinnan osittaiseen paljastumiseen korjuutähteiden alta, millä voi olla kielteisiä seurauksia pintamaan rakenteelle (Subler ym., 2000).

Suorakylvö vesistökuormituksen kannalta

Tässä tutkimuksessa maan alttius eroosiolle oli suorakylvetyllä maalla selvästi pienempi kuin kynnetyllä maalla yhtä vertailuparia lukuun ottamatta. Pitkään suorakylvössä ollut pelto voidaan luokitella pysyvästi kasvupeitteiseksi maaksi, jonka ominaisuudet poikkeavat muokatusta maasta. Tulosten mukaan suorakylvömaan tiivis rakenne kesti sadetta paljon paremmin kuin tuore kynnös, joka tiivistyi sadetuksen yhteydessä. Murujen asettuminen tiivisti toisiinsa nähden vähensi todennäköisesti maan eroosioalttiutta löyhään, muokattuun maahan verrattuna. Toinen tekijä, joka todennäköisesti vähensi suorakylvetyn pintamaan erodoitumista, oli orgaanisen hiilen kertyminen maan pintaosaan. Tätä arviota tukee se, että monissa tutkimuksissa on todettu eloperäisen aineksen pitoisuuden kasvun parantaneen murujen vedenkestävyyttä (mm. Pitkänen, 1988). Lisäksi suorakylvetyn maan pinnassa ollut kasvipeite suojasi pintamaata sateelta. Näiden tekijöiden merkitys eroosion muodostumisessa vaatii kuitenkin jatkotutkimusta, jotta niitä voidaan paremmin hyödyntää eroosiota vähentävien viljelymenetelmien kehittämisessä.

Suorakylvön aiheuttamasta vesistökuormituksesta ei ole Suomesta muita tutkimuksia kuin varsin kaltevan Aurajoen kentän pintavalunnan mittaustulokset (Puustinen ym., 2004), mutta johtopäätöksiä voidaan tehdä myös muiden kyntöä kevyempien muokkausmenetelmien pohjalta. Kun tässä tutkimuksessa suorakylvö näytti lisäävän joissakin tapauksissa pintavaluntariskiä, kenttämittausten mukaan syysmuokkauksen poisjättäminen (sänkipelto ja nurmi) kasvatti savimaalla ja hietamaalla pintavalunnan osuutta kokonaisvalunnasta, kun pellon kaltevuus oli 1-2 % (Turtola & Kemppainen, 1998, Turtola ym., 2003). Näissä tutkimuksissa muokkaamattomuus vähensi eroosiota pintavalunnan runsastumisesta huolimatta. Aurajoen ja Jokioisten huuhtoutumiskenttien tulokset osoittavat, että kasvipeitteisyys yleensä vähentää eroosiota syksyllä muokattuun maahan verrattuna, ja kasvipeitteisyyden teho on suurimmillaan leutoina talvina (Puustinen & Turtola, 2004b).

Suorakylvetyillä mailla liuenneen fosforin kuormitus nousi korkeaksi useasta syystä. Ensimmäinen taustavaikuttaja oli maassa ennestään ollut korkea fosforitila, joka ei liittynyt suorakylvöön vaan oli seurausta edeltävästä, voimaperäisestä viljelystä. Toinen tekijä oli suorakylvön aiheuttama fosforin rikastuminen maan pintakerrokseen, mikä tuli esille selvimmin kaikkein pisimpään suorakylvössä olleella lohkolla. Muina tekijöinä olivat

todennäköisesti ainakin fosforin huuhtoutuminen maan pintaa peittävästä kasvipeitteestä ja mahdollisesti myös lierojen ulosteesta.

Sekä tämän että muiden tutkimustulosten (mm. Puustinen & Turtola, 2004b) perusteella voidaan todeta, että fosforikuormituksen hallinnan osalta suorakylvö vaatii jatkotutkimusta ja menetelmäkehitystä. Liukoisen fosforin kuormituksen vähentämisen kannalta tärkeitä jatkotutkimusaiheita ovat mm. suorakylvöön sopivat lannoitteet, ravinteiden kierto suorakylvetyssä maassa, kuormituspotentiaalin vähentäminen maan fosforipitoisuuden ollessa korkea ja suorakylvetyn maan rakenteen vedenläpäisevyyden varmentaminen. Suorakylvömenetelmän integroiminen muihin vesiensuojeluun tähtääviin toimenpiteisiin on myös tarpeellinen jatkotutkimusaihe.

Kaiken kaikkiaan liuenneen fosforin kuormitus oli Pyhäjärven alueen suorakylvölohkoilla erittäin suurta. Sadesimulaatiotulosten perusteella liuennutta fosforia saattaisi kulkeutua vesistöön näiltä pelloilta jopa yli 1 kg ha^{-1} vuodessa, jos pintavalunnaksi arvioidaan noin 50 mm, joka on keskimäärin alle 20 % vuoden kokonaisvalunnasta. Kuormitus olisi siten vähintään samaa suuruusluokkaa kuin on yleensä mitattu yli 200 mm pintavaluntaa vuodessa tuottavalla Aurajoen kentällä (Puustinen ym., 2004). Yhtä suuria liukoisen fosforin kuormia on havaittu Suomen muilla, fosforitilaltaan huomattavasti alhaisemmilla huuhtoutumiskentillä vain fosforin toistuvan pintalannoituksen jälkeen (Turtola & Jaakkola, 1995, Turtola & Kemppainen, 1998). Todennäköisesti Pyhäjärven alueella on sen viljelyhistoriasta johtuen paljon peltoja, joiden pintamaa sisältää saman suuruisia määriä helppoliukoista fosforia kuin tähän tutkimukseen osuneet peltolohkot. Suorakylvö yksittäisenä toimenpiteenä tuskin pystyy vähentämään näiltä pelloilta tulevaa fosforikuormitusta riittävästi vesistöjen rehevöitymiskehityksen pysäyttämiseksi. Sen sijaan eroosiota suorakylvö torjuu tehokkaasti, mikä on hyvin tervetullutta varsinkin, jos leudot talvet yleistyvät.

4. Viljelijöiden haastattelututkimus

4.1. Tutkimusalue ja menetelmät

Tutkimusalueena oli Pyhäjärven valuma-alue (615 km^2) Säkylän, Yläneen, Euran, Oripään alueilla. Valuma-alueella on kaksi Pyhäjärveen laskevaa jokea, Yläneenjoki ja Pyhäjoki, joiden mukana tuleva fosforikuormitus muodostaa yli 60 % Pyhäjärven vuotuisesta fosforikuormituksesta.

Haastattelun kohderyhmänä ovat Pyhäjärven valuma-alueen viljelijät, haastattelut perustuvat satunnaisotantaan. Haastattelimme viittäkymmentä viljelijää, joista puolet harjoitti suorakylvöä ja puolet viljeli tavanomaisilla menetelmillä.

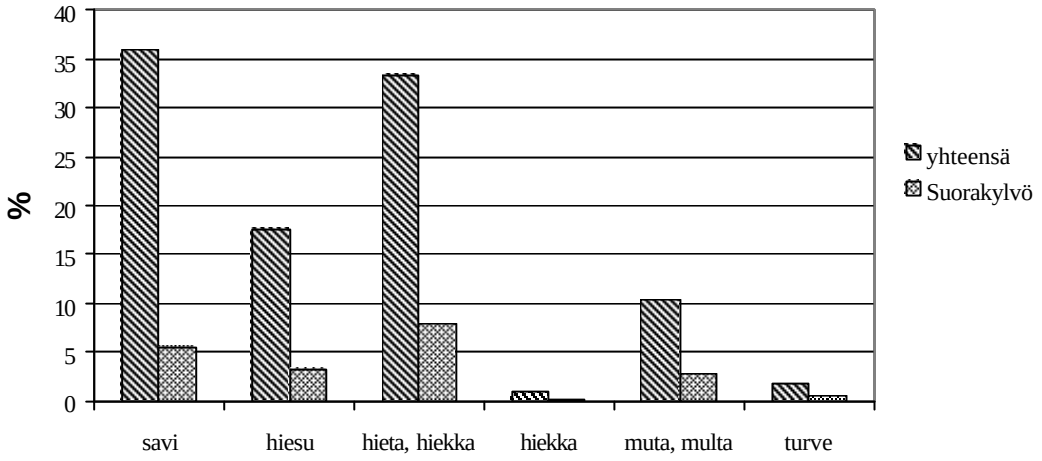
Kyselyt tehtiin talvella 2002-2003 henkilökohtaisesti haastattelemalla. Tiloja koskevat tiedot ovat siis pääosin kasvukaudelta 2002. Haastattelijoina toimivat Jukka Heinonen ja Henry Salmenoja. Haastattelun runko perustui osittain Työtehoseuran vuonna 2002 tekemään haastattelututkimukseen (Lätti 2002). Osa haastatteluista tehtiin samanaikaisesti MTT:n ja Suomen ympäristökeskuksen toteuttaman Maatalouden ympäristötukien vaikuttavuuden seuranta -tutkimuksen kanssa.

Haastattelukysymykset ovat liitteessä 1.

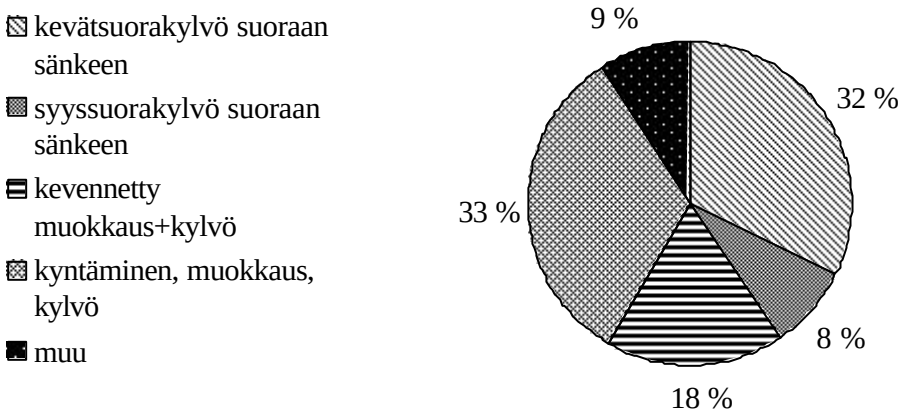
4.1.1. Taustatietoa tiloista

Viljelijöiden iän keskiarvo oli 47 vuotta ja tilalla työskentelevien henkilöiden määrän keskiarvo 1,5.

Haastatteluun osallistuneiden viljelyssä oli yhteensä 2195 hehtaaria maata, josta suorakylvöllä oli noin 20 %. Tilan kokonaispeltopinta-ala oli keskimäärin 34,4 ha ja lohkojen keskimääräinen lukumäärä 14. Peltojen kauimmainen etäisyys talouskeskuksesta oli keskimäärin 6 km. Tutkimustilojen kaikkien lohkojen maalajiosuudet on esitetty kuvassa 4.1. 12 %:a mukana olleista tiloista oli luomutiloja, 88 %:lla viljelytapa oli tavanomainen.



Kuva 4.1. Tilojen kaikkien lohkojen maalajit



Kuva 4.2. Käytettävät kylvömenetelmät ja niiden prosenttiosuudet (syksy 2001- kevät 2002).

Tiloilla käytetyt kylvömenetelmät ja niiden osuudet on esitetty kuvassa 4.2. Lohkoista 52,5 % oli tasaisia, 27,5 loivasti vesistöön viettäviä ja 2 % jyrkästi viettäviä. Pelloista 78 % oli salaojitettu, 15 % avo-ojitettu ja 6 % ilman ojitusta.

4.2. Tulokset

Suorakylvö tunnettiin viljelijöiden keskuudessa hyvin. Kysymykseen 'Kuinka hyvin tunnette tämän menetelmän?', 49% vastasi tuntevansa menetelmän hyvin, 49% tunsi jonkin verran ja vain 2%: ei tuntenut menetelmää ollenkaan. Suorakylvöstä oli saatu tietoa yleisimmin muilta viljelijöiltä (44 %) ja ammattilehdistä (32 %), sekä jonkin verran messuilta, näyttelyistä ja internetin keskustelupalstoilta (13 %) ja koulutuksen kautta (10 %). Neuvontaorganisaatioilta suorakylvöön liittyvää tietoa ei toistaiseksi ollut saatu (1 %).

4.2.1. Suorakylvöön siirtymisen ja siirtymättömyyden syyt

Suurimmalla osalla suorakylvöä jo käyttävistä viljelijöistä on tavoitteena, että samoilla lohkoilla suorakylvetään pitkään. Neljännestä suorakylvötilojen lohkoista olikin suorakylvetty yhtäjaksoisesti yli 5 vuotta. Keskimäärin tiloilla oli suorakylvetty 4,5 vuotta.

Suorakylvöä jo käyttävillä menetelmään siirtymisen syitä olivat:

Haettiin kustannussäästöä 77 %
Haettiin työaikasäästöä 73 %
Ympäristösyistä 73 %
Maan rakenteen parantaminen 68 %
Kaluston uusimistarve 23 %

Tavanomaisia menetelmiä käyttävät perustelivat suorakylvöön siirtymättömyyttään mm. seuraavasti:

- En halua käyttää kemiallisia herbisidejä
- Koneen hinta
- Olemassa olevat tavanomaiset koneet
- Pieni vilja-ala, erikoiskasveja lohkoilla - palstat, reunat viljalla, hyväkuntoinen tavanomainen kalusto
- Tilanteen seuraaminen, muiden kokemusten hyödyntäminen

- Heinänviljely, nurmikierto
- Pieni vilja-ala (nurmien uusiminen + olemassa olevat koneet)
- Siemenviljely
- Rikkakasvien pelko
- Ei ole ollut saatavilla, omat koneet riittäneet
- Ei urakoitsijaa, kallis kone
- Luomutuotanto, ei mahdollista
- Korkea ikä

Noin puolet tavanomaisia menetelmiä käyttävistä haluaisi kokeilla suorakylvöä ja 70 % haastatelluista pitää todennäköisenä, että tilalla kokeillaan suorakylvöä kolmen seuraavan vuoden aikana. Viljelijöiden kiinnostusta suorakylvöön lisäisivät tieto pienemmästä työmäärästä (64 %), alueella toimiva suorakylvöurakoitsija (59 %), mahdollisuus koneen yhteiskäyttöön (40 %), tieto muista taloudellisista eduista (24 %), tieto pienemmästä vesistökuormituksesta (16 %) sekä pienemmät ja halvemmat koneet (16 %).

4.2.2. Suorakylväjien konekanta

Haastateltujen suorakylväjien konekannasta noin puolet on Massey Fergusoneja (54 %) ja kolmannes Vieskan Metallin koneita (32 %). Lopuilla oli käytössä Rapideja ja yhdellä viljelijällä Juko SKL.

36 % viljelijöistä urakoi omalla koneella, keskimäärin 65 ha/vuodessa. 27 % käytti urakoitsijaa, keskimäärin 10,35 ha/vuodessa. Yhteinen kone oli 36 %:lla haastatelluista.

4.2.3. Arviot suorakylvöstä

Suorakylvömenetelmä oli myös täyttänyt siihen siirtyneiden viljelijöiden odotukset. Jopa 95 % vastanneista oli tätä mieltä. Lopullakin 5 %:lla vastaajista odotukset olivat täyttyneet osittain. 33 % vastanneista aikoi lisätä suorakylvetyn maan pinta-alaa seuraavan kolmen vuoden aikana, 67 % säilyttää nykyisen alan. Kukaan vastanneista suorakylvöä jo harjoittavista viljelijöistä ei aikonut seuraavan kolmen vuoden aikana vähentää suorakylvöpinta-alaa.

Vaikutus viljelymenestykseen

a) Kasvuston perustaminen

Suurin osa (59 %) suorakylvöä harjoittavista viljelijöistä oli sitä mieltä, että suorakylvöllä ei ollut vaikutusta kasvuston perustamiseen. 32 %:n mielestä suorakylvöllä kasvuston perustaminen onnistui paremmin kuin tavanomaisilla menetelmillä, 14 %:n mielestä huonommin.

Tavanomaisia menetelmiä käyttävät olivat arvioissaan varovaisempia. 38 % vastanneista ei osannut arvioida miten suorakylvö vaikuttaa kasvuston perustamiseen. 31 % vastaajista arvioi, että suorakylvö vaikuttaa negatiivisesti kasvuston perustamiseen, vain 4 % arvioi että vaikutus olisi positiivinen. 27 % arvioi, että suorakylvöllä ei olisi vaikutusta kasvuston perustamiseen. Tulokset on esitetty taulukossa 4.1.

b) Korjuutoimenpiteiden onnistuminen

64 % suorakylvöä harjoittavista haastatelluista oli sitä mieltä, että korjuutoimenpiteiden onnistumisella ei ollut eroa tavanomaisten menetelmien ja suorakylvön välillä. Vajaa kolmanneksen (26 %) mielestä suorakylvetyn alan korjuutoimet onnistuivat tavanomaisia paremmin.

Arviot taloudellisista vaikutuksista

Lähes kaikki (95 %) suorakylvöä harjoittavat haastatellut olivat sitä mieltä, että suorakylvöön siirtyminen ei ollut vaikuttanut keskimääräiseen hehtaarisatoon. Loppujen (5 %) mielestä hehtaarisato oli suorakylvöön siirtymisen seurauksena kasvanut, kukaan ei arvioinut sen laskeneen. 91 % vastaajista arvioi, että suorakylvöön siirtyminen oli vaikuttanut positiivisesti tilan taloudelliseen kokonaistilanteeseen, 9 % arvioi että taloudellinen tilanne oli pysynyt samana. Kukaan ei arvioinut, että suorakylvöstä olisi aiheutunut tilalle taloudellista menetystä tai tappiota.

Tavanomaisia menetelmiä käyttävät arvioivat, että suorakylvöön siirtyminen joko säilyttäisi satotason samana (46 %) tai laskisi sitä (38 %). 4 % vastaajista arvioi, että suorakylvöllä olisi positiivinen vaikutus satotasoon ja 12 % ei osannut arvioida vaikutusta. 42 % vastaajista arvioi, että suorakylvöön siirtyminen olisi tilan kokonaistalouden kannalta positiivinen asia, 16 % vastaavasti arvioi että vaikutus olisi negatiivinen. 27 % vastaajista arvioi että

menetelmä ei vaikuttaisi tilan kokonaistalouteen, 12 % vastaajista ei osannut arvioida vaikutusta.

Arviot ympäristövaikutuksista

96 % suorakylvöä harjoittavista vastaajista arvioi, että suorakylvöön siirtyminen on ympäristön kannalta positiivinen asia, vain 4 % vastaajista arvioi että menetelmä on ympäristön kannalta yhdentekevä. 64 % vastaajista arvioi, että suorakylvöön siirtyminen ei ole lisännyt heidän lannoitteiden käyttöään, 36 % arvioi että lannoitteiden käyttö oli suorakylvöön siirtymisen jälkeen vähentynyt.

Myös enemmistö (69 %) tavanomaisia menetelmiä käyttävistä arvioi, että suorakylvö on ympäristön kannalta positiivinen asia. 8 % arvioi, että menetelmä on ympäristön kannalta yhdentekevä, 4 % arveli että vaikutus on ympäristön kannalta negatiivinen. 42 % vastaajista arvioi, että suorakylvöön siirtymisellä ei olisi vaikutusta tilan lannoitteiden käyttöön, 8 % arvioi että lannoitteiden käyttö lisääntyisi ja samoin 8 % arvioi että käyttö vähentyisi. 42 % haastatelluista ei osannut arvioida lannoitteiden tarvetta suorakylvöön siirtymisen jälkeen.

Torjunta-aineiden käyttö oli suorakylvöön siirtyneiden mielestä lisääntynyt (77 %), 18 % arvioi että torjunta-aineiden käyttö oli pysynyt samana. Myös tavanomaisia menetelmiä käyttävät arvioivat, että suorakylvöön siirtyminen lisäisi torjunta-aineiden käyttöä (84 %). Toisaalta 12 % arvioi että torjunta-aineiden käyttö vähenisi. 4 % tavanomaisia menetelmiä käyttävistä ei osannut arvioida miten torjunta-aineiden käyttö muuttuisi.

Vastaajat arvioivat molemmissa haastatteluryhmissä (suorakylväjät ja tavanomaisia menetelmiä käyttävät), että suorakylvöllä oli jonkin verran vaikutusta myös seuraaviin ilmiöihin:

- lätäkköjen muodostuminen vähenee
- norojen muodostuminen vähenee
- liettyminen vähenee
- kuorettuminen vähenee
- poutiminen vähenee
- peltojen kantavuus paranee

Näiden positiivisten vaikutusten arvioitiin tulevan näkyviin noin vuoden viiveellä.

Taulukko 4.1. Yhteenveto suorakylvön vaikutuksista

VAIKUTUS VILJELYMENETELMIIN		
Kasvuston perustaminen	**suorakylvö %**	**tavanom. %**
Ei eroa verrattuna perinteiseen	59	27
Suorakylvö onnistui(si) paremmin	32	4
Suorakylvö onnistui(si) huonommin	14	31
Ei osaa sanoa	0	38
Korjuutoimenpiteiden onnistuminen		
Ei eroa	64	
suorakylvö onnistui paremmin	27	

TALOUDELLIS ET VAIKUTUKS ET		
Keskimääräinen hehtaarisato		
Kasvanut/kasvaisi	5	4
Pysynyt/pysyisi samana	95	46
Laskisi	0	38
Ei osaa arvioida	0	12
Vaikutus tilan taloudelliseen kannattavuuteen		
Positiivinen	91	42
Ei vaikutusta	9	27
Negatiivinen	0	16
Ei osaa sanoa	0	15

ARVIOT YMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA		
Ympäristön kannalta		
Positiivinen asia	96	69
Yhdentekevä asia	4	8
Negatiivinen asia	0	4
Ei osaa arvioida	0	19
Lannoitteiden käyttö		
Kasvanut/kasvaisi	0	8
Ei muutosta	64	42
Vähentynyt/vähentyisi	36	8
Ei osaa sanoa	0	42
Torjunta-aineiden käyttö		
Lisääntynyt/lisääntyisi	77	84
Pysynyt/pysyisi samana	18	4
Vähentynyt/vähentyisi	0	12

Jatkotoimien määrittämiseksi haastatelluilta kysyttiin, mistä suorakylvöön liittyvistä aiheista viljelijät haluaisivat saada lisää tietoa ja miten tieto haluttaisiin saada. Tulokset on esitetty taulukossa 4.2.

Taulukko 4.2. Mistä suorakylvöön liittyvistä asioista viljelijät haluaisivat saada lisää tietoa?

Mistä suorakylvöön liittyvistä aiheista haluaisitte saada lisää tietoa ja koulutusta?		
	% tavanon	% suorak.
suorakylvöön siirtymisen edellytyksistä	17	2
koneista ja kalustosta	17	14
ympäristövaikutuksista	15	20
viljelytekniikasta	29	29
tutkimustuloksista	21	29

Missä muodossa haluaisitte saada tiedon?		
alan lehdistä	30	31
koulutustilaisuuksissa	32	17
kotiin postitettavana materiaalina	27	29
internetin tai sähköpostin välistyksenä	5	19

4.3. Haastattelututkimuksen tulosten tarkastelu

Haastattelujen perusteella siirtyminen suorakylvöön on Pyhäjärven valuma-alueella käynnissä viljelijälähtöisesti ja etenee vauhdilla. Muissa tutkimuksissa (Lätti 2002) on saatu samantyyppisiä tuloksia ja viljelijät osallistuvat suurin joukoin suorakylvöön liittyviin tapahtumiin. Suorakylvöön siirtymisen syyt olivat samantyyppisiä kuin koko Suomea koskeneessa Työtehoseuran tutkimuksessa (Lätti 2002). Pyhäjärviseudulla intoa lisää vielä se, että menetelmän suomalaiset pioneerit vaikuttavat alueella.

Tässä tutkimuksessa suorakylvöön jo siirtyneistä monet aikoivat lisätä suorakylvetyn maan pinta-alaa ja tavanomaisia menetelmiä käyttävistä huomattava osa piti todennäköisenä, että kolmen seuraavan vuoden kuluessa tilalla kokeillaan suorakylvöä. Suorakylvöön siirtymättömyyden yleisimpiä syitä olivat konekantaan liittyvät kysymykset. Toisaalta monet haastateltavat olivat sitä mieltä, että yhdellä koneella voisi kylvää koko kylän pellot. Alueella olemassa oleva konekanta olisi siten riittävä, mutta tiedon kulun parantamista ja organisoitumista urakoinnin saatavuuden järjestäminen vaatisi.

Vaikutus viljelymenestykseen
Tässä tutkimuksessa saadut kokemukset viljelymenestyksestä olivat positiivisempia kuin muissa tutkimuksissa, sillä monesti viljelytapojen siirtymäaikaan liittyy mahdollisia ongelmia (esim. Kulmala, 2003). Syynä tähän voi olla, että osalla viljelijöistä on menetelmästä pitkä kokemus, joka välittyy myös alueen muille viljelijöille. Monet suorakylvöön siirtyneet mainitsivat keskustelleensa asiasta siirtymävaiheessa menetelmää aiemmin käyttäneiden kanssa.

Taloudelliset vaikutukset
Suorakylvön taloudelliset vaikutukset arvioitiin yksiselitteisen positiivisiksi. Myös muissa tutkimuksissa (Mikkola & Lätti, 2004, Lätti, 2002) etenkin polttoainekulujen osalta vaikutusten on arvioitu olevan positiivisia. Pyhäjärven suojelurahaston kannalta tieto on sikäli olennainen, että taloudellisia kannustimia suorakylvöön siirtymiseksi ei rahaston osalta tarvittaisi.

Kustannussäästöjen saavuttaminen edellyttää kuitenkin riittävän isoa suorakylvöalaa, jos tilalle hankitaan oma suorakylvökone. Mikkolan & Lätin (2004) tekemien mallilaskelmien mukaan vielä 100 ha:n tilalla suorakylvöurakoitsijan käyttö on kilpailukykyinen vaihtoehto omaan koneeseen verrattuna. Urakoitsijan käyttö on myös edullinen tapa tutustua suorakylvömenetelmään. Tekemällä urakointityötä koneen hankkinut voi puolestaan kattaa kalliin suorakylvökoneen kustannuksia.

Ympäristövaikutukset
Viljelijöiden arviot suorakylvön ympäristövaikutuksista ovat yksiselitteisen positiivisia lukuun ottamatta arvioita lisääntyneestä torjunta-aineiden käytöstä. Positiivisia vaikutuksia havaittiin melko nopeasti suorakylvöön siirtymisen jälkeen, jo vuoden viiveellä. Viljelijöiden havainnot liittyivät lähinnä parantuneeseen maan rakenteeseen ja vesitalouteen.

Tämän tutkimuksen maaperätieteellinen osuus mittasi ja selvitti erityyppisiä ja eri mittakaavaisia ympäristövaikutuksia kuin viljelijähaastattelu, eivätkä tulokset ja havainnot siten ole keskenään ristiriidassa vaan täydentävät toisiaan.

5. Yhteenveto ja johtopäätökset

Viime vuosina suorakylvö on yleistynyt Suomessa nopeasti. Vuonna 2003 suorakylvöalaksi arvioitiin 50 000-100 000 ha. Alan ennustetaan kasvavan edelleen ja vuonna 2004 sen arvioidaan ylittävän 100 000 ha:n rajan. Suorakylvöön siirtyvän viljelijän ensisijainen tavoite on säästää kustannuksia ja aikaa. Tilakoon jatkuva kasvu, viljan alhainen hinta ja urakointityön lisääntyminen ovat kasvattaneet viljelijöiden kiinnostusta siirtyä suorakylvöön ja kehitys jatkunee samansuuntaisena. Taloudellisten tavoitteiden ohella suorakylvön mahdollisuudet peltoviljelyn aiheuttaman ympäristökuormituksen vähentämisessä ja maan rakenteen parantamisessa kiinnostavat sekä viljelijöitä että ympäristöhallintoa.

Esiselvitys toteutettiin pääosin Säkylän, Euran ja Yläneen kunnan alueella sijaitsevan Pyhäjärven valuma-alueella. Pyhäjärveä uhkaa pitkään jatkuneista ja laajoista suojelutoimista huolimatta voimakas rehevöityminen. Järven ulkoisesta fosforikuormituksesta yli 60 % on peräisin Yläneenjoen ja Pyhäjoen valuma-alueilta. Pyhäjoen ja Yläneenjoen valuma-alueiden viljelijät ovat lisääntyvässä määrin kiinnostuneita suorakylvöstä.

Tässä esiselvityksessä tutkittiin pitkään suorakylvetyillä pelloilla, miten suorakylvö muutti maan rakennetta, eroosiota, pintavalunnan todennäköisyyttä ja fosforin huuhtoutumisriskiä. Verranteena oli kynnetty maa. Tavoitteena oli saada alustavia vastauksia kysymykseen suorakylvön soveltuvuudesta käytännön vesiensuojelun työvälineeksi. Pyhäjärven valuma-alueen viljelijöiden haastatteluilla selvitettiin, miten koko alueen suorakylvöön siirtyminen käytännössä voisi onnistua ja mitä sosioekonomisia seurauksia siitä olisi. Yhdessä esiselvityksestä saadun ja muun tiedon kanssa tuloksia käytettiin jatkotoimien määrittämiseen.

5.1. Johtopäätökset

Maaperä ja kuormitus

- Suorakylvö vähensi maan pinnan eroosioalttiutta. Pitkään suorakylvetyssä maassa sateen ja pintavalunnan kuluttavaa vaikutusta estävät maan pinnan tiivistyminen, kasvipeitteen antama suoja ja maan eloperäisen aineksen lisääntymisen aikaansaamat muutokset. Tämän hankkeen mittakaavassa ei voitu

tutkia eroosioalttiutta lohkotason ilmiönä. Pyhäjärven alueen viljelijät ovat havainneet, että suorakylvöön siirtyminen on vähentänyt selvästi sekä pellon pinnan noroutumista että veden ojiin kuljettaman maa-aineksen määrää.

- Suorakylvetyn maan rakenne oli ruokamultakerroksessa tiivis. Maan kantavuuden ja suorakylvöä haittaavien ajourien ehkäisemisen kannalta tämä oli hyvä asia. Tulosten mukaan suorakylvetyn maan makrohuokosrakenne ei selkeästi vähentänyt pintavalunnan riskiä. Muun muassa märän suorakylvetyn maan kyky varastoida hetkellisesti vettä oli keskimäärin pienempi kuin kynnetyn maan. Suorakylvömenetelmän onnistumisen edellytys on se, että tiivis maa on niin huokoinen, että vesi imeytyy märkään maahan ja kulkeutuu siinä nopeasti pinnasta syvemmälle.

- Pyhäjärven alueen pelloilla lierotiheydet olivat korkeita ja suorakylvö oli johtanut lierokantojen selvään kasvuun. Erityisen vahvana kasvu näkyi korjuutähteitä ravinnokseen käyttävien sekä syvälle kaivautuvien lajien kohdalla. Aurajoen valuntakentällä lieroja oli hyvin vähän eikä viljelytapojen välillä voitu havaita eroja lierojen runsaudessa.

- Tutkimuksessa tuli esille se, että suorakylvetyn maan rakenteen muodostumisessa biologisilla tekijöillä on keskeinen asema. Suorakylvetyssä maassa lierojen runsaus oli positiivisessa vuorosuhteessa maan huokoisuuden kanssa ja lieronkäytävät lisäsivät kyllästetyn maan vedenjohtavuutta. Pyhäjärven alueella suorakylvetyssä maassa oli pinnasta jankon alaosaan jatkuvia lierokanavia, mikä oli pintavalunnan ehkäisyn ja märän maan rakenteen toiminnan kannalta suotuisa tulos. Lierojen vaikutus pelloilta tulevaan kuormitukseen on kuitenkin monisyinen ilmiö ja lieroaktiivisuuden nettovaikutusten kattava arviointi edellyttää yksityiskohtaisempaa tietoa lierojen merkityksestä eroosioaineksen ja ravinteiden liikkumiselle maassa.

- Pitkäaikainen suorakylvö kerrytti helppoliukoista fosforia maan pintakerrokseen. Kertymisestä aiheutuu fosforin lisäkuormitusta vesistöön, jos peltolohkolla muodostuu pintavaluntaa. Myös maan pinnalle jäävästä kasviaineksesta huuhtoutuu jonkin verran fosforia. Toisaalta kertymisestä ei ole haittaa ympäristölle, jos maan vedenläpäisevyys on riittävä syksyn ja kevään valuntahuippujen aikana.

- Maan ominaisuuksiltaan samanlaisten lohkoparien valinta Pyhäjärven alueen käytännön viljelmiltä osoittautui hankalaksi tehtäväksi. Eniten tulosten tulkitaan vaikutti kahden verranneparin merkittävä ero maan fosforipitoisuudessa. Erot

olivat niin suuria, etteivät ne voineet kokonaan johtua eroista muokkauksessa. Suurin erojen syy oli todennäköisesti lohkojen erilainen viljelyhistoria. Siten näiden lohkoparien erilaista maan fosforitilaa ja fosforin huuhtoutumista ei voida tulkita yksinomaan suorakylvöön siirtymisestä johtuvaksi.

- Muokkaustavasta riippumatta merkittävä osa maahan imeytyneen veden huuhtomasta fosforista ja maa-aineksesta näytti sitoutuvan ja suodattuvan veden kulkiessa maan läpi. Selvityksen tulokset osoittivat, että suorakylvössä on kiinnitettävä erityisen paljon huomiota maan hyvän vedenläpäisevyyden säilyttämiseen ja ojituksen toimivuuteen.

- Suorakylvö on monessa suhteessa ratkaisevasti erilainen menetelmä tavanomaiseen viljelyyn verrattuna. Koska maaperän muutokset ovat monilta osin hyvin hitaita, tarvitaan pitkäjännitteistä tutkimusta ja menetelmäkehitystä viljelyteknisten ja ympäristön kannalta ongelmallisten seikkojen ratkaisemiseksi.

Suorakylvö vesiensuojelun välineenä

- Suorakylvö lisääntyy nopeasti sekä Pyhäjärven valuma-alueella että muualla Suomessa mm. tilakoon kasvamisen vuoksi. Menetelmään liittyy kiistattomia ympäristöhyötyjä, kuten pienempi polttoaineen kulutus, peltoeläimistön elinympäristön paraneminen ja todennäköisesti myös vähentyvä typen huuhtoutuminen. Suorakylvöön liittyvä vesiensuojelullinen ongelma on tässä ja myös aiemmissa tutkimuksissa havaittu liukoisen fosforin kuormitusriski. Liukoinen fosfori on vesistöissä välittömästi kasviplanktonin käytössä ja siten erityisen tehokas kuormittajana. Pyhäjärvessä viime vuosien ongelma on ollut nimenomaan kasviplanktonbiomassan kasvu (Sarvala ym., 2001) ja siksi liukoisen fosforin kuormituksen mahdolliseen kasvuun on suhtauduttava erityisellä vakavuudella. Suorakylvön soveltaminen vesiensuojelutyössä vaatii jatkotutkimusta ja menetelmäkehitystä mm. ravinteiden kierron, suorakylvöön parhaiten soveltuvan lannoituksen, lannoitteiden ja kalkituksen sekä maan läpäisevän rakenteen varmentamisen osalta.

- Vaikka tässä tutkimuksessa käsiteltiin suorakylvöä vesiensuojelun välineenä nimenomaan ravinnekuormituksen kannalta, on tärkeää havaita että suorakylvö on merkittävä ilmastonmuutoksen torjunnan työväline (Reicosky 2000, 2002). Eri puolilla maailmaa laaditut tieteelliset ilmastoskenaariot ennustavat, että tulevina vuosikymmeninä ilmasto muuttuu vesiensuojelutyön kannalta haasteelliseksi (IPCC, 2001). Sadannan ajoitus muuttuu ja erittäin voimakkaiden sääilmiöiden tiheys ja todennäköisyys kasvaa. Maan rakennetta parantavat viljelymenetelmät lisäävät maaperän kykyä käsitellä suuria vesimääriä ja

vähentävät eroosiota. Suorakylvö on vesistöjen kannalta edullinen menetelmä etenkin leutoina talvina, jolloin lumi sulaa jatkuvasti pois ja kuormitustasot nousevat muokatuissa maissa (Puustinen & Turtola 2004b).

- Tarvitaan edelleen lisää kotimaisia Suomen oloissa tehtyjä tutkimuksia suorakylvön ympäristövaikutuksista. Etenkin tarvittaisiin monipuolisia, kaikki ympäristövaikutukset huomioivia kokonaistarkasteluja, joissa esim. ilmastonmuutos on mukana. Myös Pyhäjärven perusekologiaan, kuten ravinnekiertoihin ja sisäiseen kuormitukseen liittyvää tietämystä on syytä edelleen lisätä ja tulokset on huomioitava valuma-alueen toimissa. Vesiekosysteemissä aikaansaadut muutokset etenkin ravinnekierroissa eivät läheskään aina ole palautuvia, vaan negatiivinen muutos voi olla myös pysyvä (Gundersson & Pritchard 2002).

- Jatkossa onkin syytä mitata vesistökuormituksen kannalta olennaisia kemiallisia muuttujia suoraan pelloilta laskevista ojista säännöllisesti esim. tässä tutkimuksessa mukana olleilta lohkoilta. Kuormituksen vuodenaikaiset muutokset ja menetelmän edut ja haitat saataisiin siten entistä tarkemmin dokumentoitua.

- Tutkimuksessa käy ilmi, että mukana olleiden lohkojen fosforipitoisuus on suuri viljelymenetelmästä riippumatta. Syynä on mm. aiempi viljelyhistoria. Tähän seikkaan on syytä jatkossa kiinnittää huomiota ja laatia tilakohtaisia ravinnetaseita erityyppisille tiloille.

- Pyhäjärven suojelurahaston rooli Pyhäjärven valuma-alueella voisi tutkimustulosten perusteella olla pelto-ojien ravinnepitoisuuksien seurannan järjestäminen sekä tiedon välitykseen, verkostoitumiseen ja menetelmän muuhun kehittämiseen liittyvä. Jotta menetelmään liittyvät mahdolliset ongelmat saadaan ratkaistua mahdollisimman tehokkaasti, tarvitaan sekä kansallista että kansainvälistä yhteistyötä.

Viitteet

Addiscott, T.M. & Thomas, D. (2000) Tillage, mineralization and leaching: phosphate. Soil & Tillage Research 53: 255-273.

Alakukku, L. (1996) Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II. Long-term effects on the properties of fine-textured and organic soils. Soil & Tillage Research 37: 223-238.

Alakukku, L. (1998) Properties of compacted fine-textured soils as affected by crop rotation and reduced tillage. Soil & Tillage Research 47: 83–89.

Alakukku, L., Aura, E., Pöyhönen, A. & Sampo, M. (1999) Miehittämättömän traktorin käytön lyhytaikaiset vaikutukset savimaan rakenteeseen. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 62: 1-44.

Alakukku, L., Heinonen, M., Aura, E., Esala, M., Nuutinen, V. & Salo, T. (2001) Maan tiivistymisen ehkäisy kyntämättä viljelyssä kevyttä miehittämätöntä traktoria käyttäen. Loppuraportti tutkimuksesta 'Pohjamaan tiivistymisen ehkäisy ja maatalouden ympäristöhaittojen vähentäminen kevyttä Modulaire-tekniikkaa käytettäessä'. MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Maaperä ja ympäristö, Jokioinen. 42 s.

Arshad, M.A., Franzluebbers, A.J. & Azooz, R.H. (1999) Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Cananda. Soil & Tillage Research 53: 41-47.

Aura, E. (1987) Inverkan av reducerad jordbearbetning på jordstruktur och markens dräneringsegenskaper. NJF Seminar nr 130. Reduceret jordbearbejdning. Horsens, Denmark.

Aura, E. (1990) Salaojien toimivuus savimaassa. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 10/90. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 93 p.

Aura, E. (1999) Effects of shallow tillage on physical properties of clay soil and growth on spring cereals in dry and moist summers in southern Finland. Soil & Tillage Research 50: 169–176.

Azooz, R.H.& Arshad, M.A. (1996) Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. Canadian Journal of Soil Science 76: 143-152.

Azooz, R.H., Arshad, M.A. & Franzluebbers, A.J. (1996) Pose size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in Northwestern Canada. Soil Science Society of America Journal 60: 1197-1201.

Baker, G.H. & Lee, K.E. (1993) Earthworms. In: M.R. Carter (ed.) Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publishers, Boca Raton. p. 359-371

Ball, B.C., Lang, R.W., Robertson, E.A.G. & Franklin, M.F. (1994) Crop performance and soil conditions on imperfectly drained loams after 20-25 years of conventional tillage or direct drilling. Soil & Tillage Research 31: 97-118.

Beauchhemin, S., Simard, R.R., Bolinder, M.A., Nolin, M.C. & Cluis, D. (2003) Prediction of phosphorus concentration in tile-drainage water from the Montreal Lowland soils. Canadian Journal of Soil Science 83: 73-87.

Benjamin, J.G. (1993) Tillage effects on near-surface soil hydraulic properties. Soil & Tillage Research 26: 277-288.

Bowman, R.A. (1988) A rapid method to determine total phosphorus in soils. Soil Science Society of America Journal 52: 1301-1304.

Bowyer-Bower, T.A.S. & Burt, T.P. (1989) Rainfall simulators for investigating soil response to rainfall. Soil Technology 1: 1-16.

Børresen, T. & Njøs, A. (1993) Ploughing and rotary cultivation for cereal production in a long-term experiment on a clay soil in southeastern Norway. 1. Soil properties. Soil & Tillage Research 28: 97-108.

Børresen, T. & Uhlen, G. (1991) Soil erosion and phosphorus losses in winter surface runoff in field lysimeters at Ås 1989-1990. Norsk landbruksforskning 5: 47-54.

Chan, K.Y. (2001) An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity – implications for functioning in soil. Soil & Tillage Research 57: 179-191.

Chan, K.Y., Heenan, D.P., Oates, A. & Munro, K. (2003) Hydraulic properties of an alfisol with a pre-existing pan under conservation tillage – effect of earthworms. Proceedings of International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference "Soil Management for Sustainability", 13-18 July 2003, The University of Queensland, Brisbane, Australia. p. 300-304. http://www.istro.org.

Chichester, R.W. & Richardson, C.W. (1992) Sediment and nutrient loss from clay soils as affected by tillage. Journal of Environmental Quality 21: 587.

Climate Change (2001). Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (WG I & II) (Cambridge Univ. Press, Cambridge)

Comia, RA., Stenberg, M., Nelson, P., Rydberg, T. & Håkansson, I. (1994) Soil and crop responses to different tillage systems. Soil & Tillage Research 29: 335-355.

Cox, J.W., Kirkby, C.A., Chittleborough, D.J., Smythe, L.J. & Fleming, N.K. (2000) Mobility of phosphorus through intact soil cores collected from the Adelaide Hills, South Australia. Australian Journal of Soil Research 38: 973-990.

Douglas, J.T., Jarvis, M.G., Howse, K.R. & Goss, M.J. (1986) Structure of a silty soil in relation to management. Journal of Soil Science 37: 137-151.

Edwards, W.M. & Shipitalo, M.J. (1998) Consequences of earthworms in agricultural soils: aggregation and porosity. Sivut 147-161 teoksessa C.A.Edwards (toim.), Earthworm Ecology. St. Lucie Press, Boca Raton.

Ehlers, W. (1975) Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. Soil Science 119: 242-249.

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

Elonen, P. (1971) Particle-size analysis of soil. Acta Agralia Fennica 122: 1-122.

Gundersson L.H. & Pritchard Jr., L (toim.) 2002 Resilience and the behaviour of large scale ecosystems. Island Press. Washington, DC.

Gunn, A. (1992) The use of mustard to estimate earthworm populations. Pedobiologia 36: 65-67.

Hartikainen, H. (1979) Phosphorus and its reactions in terrestrial soils and lake sediments. Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland 51(8): 537-624.

Heckrath, G., Brookes, P.C., Poulton, P.R. & Goulding, K.W.T. (1995) Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. Journal of Environmental Quality 24: 904-910.

Hedley, M.J., Stewart, J.W.B. & Chauhan, B.S. (1982) Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. Soil Science of America Journal 46(5): 970-976.

Holford, I.C.R., Hird, C. & Lawrie, R. (1997) Effects of animal effluents on the phosphorus sorption characteristics of soils. Australian Journal of Soil Research 35: 365-373.

Ilmatieteen laitos. (2003) Sadetilastoja ja ennätyksiä. http://www.fmi.fi/saa/tilastot.

Jakobsen, B.F. & Dexter, A.R. (1988) Influence of biopores on root growth, water uptake and grain yield of wheat (Triticum astivum) based on predictions from a computer model. Biology and Fertility of Soils 6: 315-321.

Jopkiewicz, K. (1993) Lumbricidae. Sivut 203-216 teoksessa Górny, M., Grüm, L. (toim.). Methods in soil zoology. Elsevier, Amsterdam, pp. 70-111.

Kirkkala T. & Ventelä A.-M. (2002) Pyhäjärven suojeluprojekti. Vesitalous 6/2002.

Kladivko, E.J. (2001) Tillage systems and soil ecology. Soil & Tillage Research 61: 61-76.

Kostka, J.E. & Luther III, G.W. (1994) Partitioning and speciation of solid phase iron in saltmarsh sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta 28(7): 1701-1710.

Kulmala A. (2003) Maatalouden ja Saaristomeren yhteiselo. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 4/2003, 44 s.

Kuusisto, E. (1980) On the intensity of rainfall in Finland. Aqua Fennica 10: 3-11.

Lal, R., Logan, T.J. & Faysey, N.R. (1989) Long-term tillage and wheel traffic effects on a poorly drained mollic ochraqualf in northwest Ohio. 2. Infiltrability, surface runoff, subsurface flow and sediment transport. Soil & Tillage Research 14: 341-358.

Lee, K.E. (1985) Earthworms. Their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, Sydney. 411 s.

Lundekvam, H. (1998) P-losses from three soil types at different cultivation systems. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 135(7): 177-185.

Lätti M. (2002) Suorakylvöä käytännössä - Käyttäjien kokemuksia. Työtehoseuran maataloustiedote 8/2002 (548) 8 s.

Mattila H. ym. (toim.) (2001) Pyhäjärvi – yhteistyöllä vauhtia vesiensuojeluun Lounais-Suomessa. Pyhäjärvi-instituutin julkaisuja 26.

McGarry, D., Bridge, B.J. & Radford, B.J. (2000) Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of an alluvial soil in the semi-arid subtropics. Soil & Tillage Research 53: 105-115.

Mehlich, A. (1984) Mehlich-3 soil extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis 15: 1409-1416.

Mikkola, H. & Lätti, M. (2004) Suorakylvön kannattavuus. In: Laura Alakukku, Hannu Mikkola ja Hanne Teräväinen (toim.). Suorakylvöopas. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja: Tieto tuottamaan.

Miller, J.J., Kokko, E.G. & Kozub, G.C. (1998) Comparison of porosity in a Chernozemic clay loam soil under long-term conventional tillage and no-till. Canadian Journal of Soil Science 78: 619-629.

Myers, J.L. & Wagger, M.G. (1996) Runoff and sediment loss from three tillage systems under simulated rainfall. Soil & Tillage Research 39: 115-129.

Niskanen, R. (1989) Extractable aluminium, iron and manganese in mineral soils. Journal of Acricultural Science in Finland 61: 73-87.

Nuutinen V. (1992) Earthworm community response to tillage and residue management on different soil types in southern Finland. Soil & Tillage Research 23: 221-239.

Nuutinen, V. & Butt, K. (2003) Interaction of Lumbricus terrestris L. burrows with field subdrains. Pedobiologia 47: 578-581.

Nuutinen, V., Pöyhönen, S., Ketoja, E. & Pitkänen J. (2001) Abundance of the earthworm *Lumbricus terrestris* in relation to subsurface drainage pattern on a sandy clay field. European Journal of Soil Biology 37: 301-304.

Pagliai, M., Raglione, M., Panini, T., Maletta, M. & La Marca, M. (1995) The structure of two alluvial soils in Italy after 10 years of conventional and minimum tillage. Soil & Tillage Research 34: 209-223.

Pekrun, C., Kaul, H.-P. & Claupein, W. (2003) Soil Tillage for Sustainable Nutrient management. In: El Titi, A. (ed.) Soil Tillage in Agroecosystems. p. 83-113.

Pietola, L., Horn, R. & Yli-Halla, M. (2003) Effects of cattle trampling on soil hydraulic and mechanical properties. Proceedings of International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference "Soil Management for Sustainability", 13-18 July 2003, The University of Queensland, Brisbane, Australia. p. 923-928. http://www.istro.org.

Pitkänen, J. (1988) Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 21/88: 62-162.

Pitkänen, J. (1993) Effects of tillage and straw management on earthworm burrows in soil. In: Proceedings of NJF-seminar no. 228. Soil tillage and environment. Jokioinen, Finland, 8–10 June 1993. NJF-Utredning/rapport nr. 88. p. 301–306.

Pitkänen, J. (1997) Water movement through ploughed and shallow tilled soil blocks. Proceedings 14th ISTRO Conference July 27-August 1, 1997, Pulawy Poland. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 2B/97: 535-538.

Pitkänen, J. & Nuutinen, V. (1995) Soil macropores, saturated hydraulic conductivity and earthworm activity on two soils under long-term reduced tillage in southern Finland. Acta Zoologica Fennica 196: 251-253.

Pitkänen J. & Nuutinen V. (1998) Earthworm contribution to infiltration and surface runoff after 15 years of different soil management. Applied Soil Ecology 9: 411-415.

Pote, D.H., Daniel, T.C., Sharpley, A.N., Moore, P.A. Jr, Edwards, D.R. & Nichols, D.J. (1996) Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. Soil Science Society of America Journal 60: 855-859.

Puustinen, M., Koskiaho, J. & Peltonen, K. (2004) Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on sloped fields. Agriculture, Ecosystems & Environment (Accepted manuscript).

Puustinen, M. & Turtola, E. (2004a) Suorakylvön vaikutus vesistökuormitukseen. In: Laura Alakukku, Hannu Mikkola ja Hanne Teräväinen (toim.). Suorakylvöopas. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja: Tieto tuottamaan.

Puustinen, M. & Turtola, E. (2004b) Leudot talvet lisäävät tarvetta pitää pellot kasvipeitteisinä – VIHMA –projektin tuloksia. Vesitalous 3/2004. Painossa.

Pöyhönen, A., Alakukku, L. & Pitkänen, J. (1997) Maanäytteenoton koneellistaminen ja työntutkimus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 22. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 39 p.

Randall, G.W. & Iragavarapu, T.K. (1995) Impact of long-term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage. Journal of Environmental Quality 24: 360-366.

Reicosky, D.C. (2002). Tillage and Gas Exchange. Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker, Inc. New York. pp. 1333-1335.

Reicosky, Donald C., Jerry L. Hatfield & Ronald L. Sass. (2000). Agricultural contributions to greenhouse gas emissions. p. 37-55. Teoksessa: K.R. Reddy & H.F. Hodges (toim.) Climate Change and Global Crop Productivity. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK.

Rhoton, F.E., Shipitalo, M.J. & Lindbo, D.L. (2002) Runoff and soil loss from Midwestern and southeastern US silt loam soils as affected by tillage practice and soil organic matter content. Soil & Tillage Research 66: 1-11.

Riley, H., Børresen, T., Ekeberg, E. & Rydberg, T. (1994) Trends in reduced tillage research and practice in Scandinavia. In: Carte, M.R. (ed.) Conservation tillage in temperate agroecosystems. CRC Press, Inc. Lewis Publishers. pp. 23-45.

Sarvala J., Helminen H., Kirkkala T., Mattila H. & Ventelä A.-M. (2002) Pitkäaikainen ekosysteemiseuranta kertoo parhaiten järven ekologisesta tilasta – esimerkkinä Säkylän Pyhäjärvi. Teoksessa: Grönlund ym. (toim.) Suurjärviseminaari 2001, Ympäristö ja yhteiskunta. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuskeskuksen julkaisuja N:o 133.

Schjønning, P. & Rasmussen, K.J. (2000) Soil strength and soil pore characteristics for direct drilled and ploughed soils. Soil & Tillage Research 57: 69-82.

Selles, F., McConkey, B.G. & Campbell, C.A. (1999) Distribution and forms of P under cultivator- and zero-tillage for continuous- and fallow-wheat cropping systems in the semi-arid Canadian prairies. Soil & Tillage Research 51: 47-59.

Sharpley, A.N. & Syers, J.K. (1976) Potential role of earthworm casts for the phosphorus enrichment of runoff waters. Soil Biology and Biochemistry 8: 341-346.

Sharpley, A.N., Syers, J.K. & Springett, J.A. (1979) Effect of surface-casting earthworms on the transport of phosphorus and nitrogen in surface runoff from pasture. Soil Biology and Biochemistry 11: 459-462.

Shipitalo, M.J., Dick, W.A. & Edwards, W.M. (2000) Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. Soil & Tillage Research 53: 167-183.

Shipitalo, M.J. & Edwards, W.M. (1998) Runoff and erosion control with conservation tillage and reduced-input practices on cropped watersheds. Soil & Tillage Research 46: 1-12.

Shipitalo, M.J. & Gibbs. (2000) Potential of earthworm burrows to transmit injected animal wastes to tile drains. Soil Science Society of America Journal 64:2103-2109.

Shipitalo, M.J., Nuutinen, V. & Butt, K.R. (2004) Interaction of earthworm burrows and cracks in a clayey, subsurface drained, soil. Applied Soil Ecology (painossa).

Shuster, W.D. & Edwards, C.A. (2002) Interactions between tillage and earthworms in agroecosystems. Sivut 229-260 teoksessa: El Titi, A. (toim.). Soil Tillage in Agroecosystems. CRC Press.

Shuster, W.D., Subler, S. & McCoy, E.L. (2000) Foraging by deep-burrowing earthworms degrades surface soil structure of a fluventic Hapludoll in Ohio. Soil & Tillage Research 54: 179-189.

Sims, R.W. & Gerard, B.M. (1999) Earthworms. Synopses of the British Fauna (New Series). No. 31, Field Studies Council, Shrewsbury.

Sippola, J. (1982) A comparison between a dry combustion method and rapid wet combustion method for determining soil organic carbon. Annales Agriculturae Fenniae 21: 146-148.

Skøien,S. (1988) Soil erosion and runoff losses of phosphorus, effect of tillage and plant cover. Norsk landbruksforskning 2: 207-218.

Skøien,S, Børresen, T., Lundekvam, H. & Uhlen, G. (1995) Effects of plant cover and tillage on soil erosion and phosphorus losses in surface runoff. In: Linden, B. (ed.) Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF-utredning/rapport nr 99. Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 142-147. ISSN 0333-1350.

Smedema, L.K. & Rycroft, D.W. (1983) Land drainage. Planning and design of agricultural drainage systems. British Library Cataloguing in Publication Data. B T Batsford Ltd London UK. 376 p. ISBN 0-7134-6045-8

Snedecor, G.W. & Cochran, W.G. 1980. Statistical Methods. The Iowa State University Press. 507 p.

Subler, S. & Kirsch, A. (1998) Spring dynamics of soil carbon, nitrogen, and microbial activity in earthworm middens in a no-till cornfield. Biology and Fertility of Soils 26: 243-249.

Tebrügge, F. & Düring, R.-A. (1999) Reducing tillage intensity – a review of results from a long-term study in Germany. Soil & Tillage Research 53: 15-28.

Tiiri, J. (1991) Muokkauksen vaikutus maan toimintoihin. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 11/91: 1-78.

Timm, T. (1999) Eesti rõngusside (Annelida) määraja. Looduseuurija Kãsiraamatud 1. Tartu – Tallinn.

Tomlin, A.D., Shipitalo, M.J., Edwards, W.M. & Protz, R. (1995) Earthworms and their influence on soil structure and infiltration. Sivut 159-183 teoksessa P.F. Hendrix (toim.), Earthworm Ecology and Biogeography in North America. Lewis Publishers, Boca Raton.

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 Agriculturae Scandinavica Sect. B, Soil and Plant Science 45: 159-165.

Turtola, E. & Kemppainen, E. (1998) Nitrogen and phosphorus losses in surface runoff and drainage water after application of slurry and mineral fertilizer to perennial grass ley. Agricultural and Food Science in Finland 7: 569-581.

Turtola, E. & Lemola, R. (2000) Vesistökuormitus kyntämättä viljelyssä. Maatalouden tutkimuskeskus. Jokioinen. 22+14 p. ISBN 951-729-576-6.

Turtola, E. & Paajanen, A. (1995) Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. Agricultural Water Management 28(4): 295-310.

Turtola, E. & Pitkänen, J. (1998) A rainfall simulation study on P losses from a clay soil under different tillage conditions. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 135(7): 209-217.

Turtola, E., Uusitalo, R., Lemola, R., Eskelinen, J. & Kaseva, A. (2003) P and N runoff from a heavy clay soil under reduced tillage. Proceedings of NJF's 22nd Congress "Nordic Agriculture in Global Perspective", July 1-4, 2003, Turku, Finland. Published 15.9.2003. Available at: www.njf.dk/njf/reports/njfreports.htm. 1 p.

Turtola, E. & Yli-Halla, M. (1999) Fate of phosphorus applied in slurry and mineral fertilizer: accumulation in soil and release into surface runoff water. Nutrient Cycling in Agroecosystems 55(2): 165-174.

Uusitalo, R. & Ekholm, P. 2003. Phosphorus in runoff assessed by anion exchange resin extraction and an alga assay. Journal of Environmental Quality 32: 633-641.

Uusitalo, R. & Jansson, H. (2002) Dissolved reactive phosphorus in runoff assessed by soil extraction with acetate buffer. Agricultural and Food Science in Finland 11(4): 343-354.

Uusitalo, R. & Turtola, E. (2003) Determination of redox-sensitive phosphorus in field runoff without sediment preconcentration. Journal of Environmental Quality 32: 70-77.

Uusitalo, R. , Turtola, E., Puustinen, M., Paasonen-Kivekäs, M. & Uusi-Kämppä, J. (2003) Contribution of particulate phosphorous to runoff phosphorus bioavailability. Journal of Environmental quality 32:2007-2016.

Valpasvuo-Jaatinen, P., Rekolainen, S. & Latostenmaa, H. 1997. Finnish agriculture and its sustainability: Environmental impacts. Ambio 26: 338-455.

van den Bygaart, A.J., Protz, R. & Tomlin, A.D. (1999a) Changes in pore structure in a no-till chronosequence of silt loam soils, southern Ontario. Candian Journal of Soil Science 79: 149-160.

van den Bygaart, A.J., Protz, R., Tomlin, A.D. & Miller, J.J. (1999b) Tillage system effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. Soil & Tillage Research 51: 139-149.

Van der Zee, S.E.A.T.M., Fokkink, L.G.J. & Van Riemsdijk, W.H. (1987) A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. Soil Science Society America Journal 51: 599-604.

VanVliet, P.C.J. & Hendrix, P.F. (2003) Role of fauna in soil physical processes. Sivut 61-80 teoksessa: Abbott, L.K. & Murphy, D.W. (toim.): Soil Biological Fertility. Kluwer, Dordrecht.

Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. (1995) Viljavuuspalvelu Oy. ISBN 952-90-6842-5. 30 p.

Vuorinen, M. & Mäkitie, O. (1955) The method of soil testing in use in Finland. Agrogeological Publication 63:1-44.

Wardle, D.A. (1995) Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. Advances in Ecological Research 26:105-185.

Wu, L., Swab, J.B., Paulson, W.H. & Randall, G.W. (1992) Tillage effects on measured soil hydraulic properties. Soil & Tillage Research 25: 17-33.

Ympäristötukiopas. (2000) Maatalouden ympäristötuki v. 2000-2006. Maa- ja metsätalousministeriö. 27 p.

Liite 1.

Suorakylvön soveltuvuus käytännön vesiensuojelutyöhön –esiselvitys
Pyhäjärven suojelurahasto/Pyhäjärvi-instituutti

TILAN TAUSTATIEDOT

1. Vastauspäivämäärä: _____
2. Tilan nimi: _____
3. Osoite:_____
   _____
4. Puhelin:_____
5. Viljelijän nimi:_____

   Viljelijän ikä:_____
6. Tilalla työskentelevien henkilöiden lukumäärä:
   _____kpl
7. Tilan kokonaispeltopinta-ala: _____ha,
   lohkojen lukumäärä _____kpl,
   pienin_____ ha, suurin_____ ha,
8. Kauimmainen etäisyys talouskeskuksesta _____ m
9. Tilan tuotanto:
   - ? Kotieläintila
   - ? Kasvinviljelytila
     - ? rehu- ja leipävilja
     - ? siementuotanto, mikä?_____
     - ? mallasohra
     - ? riviviljelykasvit, mikä?_____
   - ? muu, mikä?_____
10. Viljelytapa? (MYTVAS)
    - ? tavanomainen
    - ? luomuviljely

11. Tilan kaikkien lohkojen maalajiosuudet? (MYTVAS)

	yhteensä ha	josta suora-kylvö 2002
Savi:		
Hiesu:		
Hieta,hiekka:		
Hiekka:		
Muta, multa:		
Turve		

12. Käytettävät kylvömenetelmät ja niillä kylvetyt hehtaarimäärät syksy 2001-kevät 2002? (MYTVAS)

? kevätsuorakylvö suoraan sänkeen _____ha

? syyssuorakylvö suoraan sänkeen _____ha

? kevennetty muokkaus + kylvö _____ha

? kyntäminen, muokkaus, kylvö _____ha

? muu ____ha, mikä?_____

? suorakylvettyjen lohkojen osuus koko tilan viljelypinta-alasta _____%

13. Järveen tai jokeen rajoittuvien lohkojen kaltevuus:

? Tasainen

? Loiva

? Jyrkkä

14. Peltojen ojitus: (MYTVAS)

? salaojat

? avo-ojat

? ei ojitusta

Kylvömenetelmä:
Tässä tutkimuksessa suorakylvöllä tarkoitetaan muokkaamattomaan maahan kylvöä.

15. Kuinka hyvin tunnette tämän menetelmän?

? hyvin
? jonkin verran
? en tunne ollenkaan

16. Mistä tilalla on saatu tietoa suorakylvömenetelmästä?

? muilta viljelijöiltä
? ammattilehdistä
? neuvontaorganisaatioilta
? koulutuksen kautta
? muualta, mistä? _____
_____

17. Mitä mieltä olette vesiensuojelutyöstä

? tärkeää
? yhdentekevää

18. Onko tilallanne käytössä suorakylvömenetelmä

? kyllä -> jatka kysymyksestä 19.
? ei -> jatka kysymyksestä 40.

a) SUORAKYLVÖMENETELMÄÄN SIIRTYNEET
Suorakylvömenetelmän perustiedot:

19. Minkä merkkisellä koneella tilalla kylvetään?

_____

20. Kuinka pitkään tilalla on yhtä jaksoisesti suorakylvetty?

_____,

Onko tavoitteena, että suorakylvetään samoilla lohkoilla pitkään?

? kyllä
? ei

21. Onko tilalla suorakylvettävillä lohkoilla sänkimuokattu ennen suorakylvöön siirtymistä kynnön sijaan ja jos on, niin miten pitkään?

_____

22. Onko jollakin lohkolla suorakylvetty yhtäjaksoisesti vähintään 5 vuotta

? on
? ei

Suorakylvöön siirtymisen syyt

23. Miksi tilalla otettiin suorakylvömenetelmä käyttöön?

? haettiin kustannussäästöä
? maan rakenne
? haettiin työaikasäästöä
? kaluston uusimistarve
? ympäristösyistä
? muu syy, mikä? _____
_____
_____

24. Onko menetelmä vastannut odotuksianne tältä osin?

? kyllä

? osittain, miten? _____

? ei, miksei? _____

25. Urakoitteko suorakylvökalustollanne?

? kyllä _____ha/v, hehtaari/tuntiveloitus_____

? en

26. Käytättekö urakoitsijaa?

? kyllä _____ha/v, hehtaari/tuntiveloitus_____

? en

27. Onko kone yhteinen?

? kyllä

? ei

28. Otettiinko kaluston hankintavaiheessa huomioon urakointimahdollisuus?

? kyllä, miten? _____
_____

? ei

29. Aiotteko seuraavan kolmen vuoden aikana

? lisätä suorakylvöä, miksi?_____
_____

? pitää suorakylvöalan ennallaan

? vähentää suorakylvöä, miksi? _____
_____

Arvio viljelymenestyksestä

30. Kasvuston perustamisen onnistuminen tavanomaiseen menetelmään verrattuna?

? onnistui paremmin, miksi?_____

? onnistui huonommin, miksi?_____

? ei eroa

31. Suorakylvöalojen korjuutoimenpiteiden onnistuminen verrattuna tavanomaisesti kylvettyjen alojen korjuuseen?
    - ? onnistui paremmin, miksi?_____
    - ? onnistui huonommin, miksi?_____
    - ? ei eroa
32. Onko suorakylvettyjen kasvien keskimääräinen hehtaarisato verrattuna entiseen kylvömenetelmään
    - ? kasvanut
    - ? pysynyt samana
    - ? laskenut

Arvio taloudellisista vaikutuksista

33. Onko suorakylvömenetelmän käyttöönotto vaikuttanut kokonaisuudessaan tilanne taloudelliseen kannattavuuteen
    - ? positiivisesti
    - ? ei vaikutusta
    - ? negatiivisesti

Arvio ympäristöystävällisyydestä

34. Onko lannoitemääriä lisätty/vähennetty suorakylvöön siirtymisen vuoksi?
    - ? on, miten paljon: lannoite +/-_____kg/ha,
    - ? ei
35. Onko torjunta-aineiden käyttö lisääntynyt suorakylvölohkoilla?
    - ? On, miksi?
        - ? Rikkakasvien torjunta
        - ? Tautien torjunta
        - ? Tuholaisten torjunta
    - ? ei
36. Onko suorakylvöön siirtyminen ollut mielestänne ympäristön kannalta
    - ? positiivinen asia

? yhdentekevä asia
? negatiivinen asia

37. Arvioikaa suorakylvön vaikutusta seuraaviin ongelmiin

	ongelma parantunut selvästi	ongelma parantunut jonkin verran	ei vaikutusta	ongelma pahentunut jonkin verran	ongelma pahentunut selvästi
Lätäköiden muodostuminen	1	2	3	4	5
Norojen muodostuminen	1	2	3	4	5
Liettyminen	1	2	3	4	5
Kuorettuminen	1	2	3	4	5
Poutiminen	1	2	3	4	5
Peltojen kantavuus	1	2	3	4	5

Tulivatko nämä esiin heti vai viiveellä?

? heti
? _____ viiveellä

38. Mistä suorakylvöön liittyvistä aiheista haluaisitte saada lisää tietoa ja koulutusta

? suorakylvöön siirtymisen edellytyksistä
? koneista ja kalustosta
? ympäristövaikutuksista
? viljelytekniikasta
? tutkimustuloksista
? muusta, mistä?

_____

39. Missä muodossa haluaisitte saada tiedon?

? alan lehdistä
? koulutustilaisuuksissa
? kotiin postitettavana materiaalina

? internetin tai sähköpostin välistyksenä
? muuten, miten?

_____

TAVANOMAISIA MENETELMIÄ KÄYTTÄVÄT

Suorakylvöön siirtymättömyyden syyt

40. Oletteko koskaan kokeillut suorakylvömenetelmän käyttöönottoa
? kyllä
? ei
? haluaisin kokeilla

41. Miksi tilalla ei ole otettu suorakylvömenetelmää käyttöön?

_____

42. Mitkä tekijät lisäisivät kiinnostustanne suorakylvöä kohtaan
? alueella oleva suorakylvöurakoitsija
? mahdollisuus koneen yhteiskäyttöön
? tieto pienemmästä ravinnekuormituksesta vesistöön
? tieto pienemmästä työmäärästä
? pienemmät ja halvemmat koneet
? tieto muista taloudellisista eduista
? muu, mikä?

_____

? ei mikään

44. Kuinka todennäköisenä pidätte, että tilallanne kokeillaan suorakylvöä seuraavan kolmen vuoden aikana
? todennäköisenä
? epätodennäköisenä

Arvio viljelymenestyksestä

45. Miten arvioisitte tämän hetkisten tietojenne perusteella suorakylvön vaikutusta kasvuston perustamiseen?

? onnistuisi paremmin

? onnistuisi huonommin

? ei eroa

? en osaa arvioida

46. Miten arvioisitte tämän hetkisten tietojenne perusteella suorakylvettyjen kasvien keskimääräistä hehtaarisatoa verrattuna tavanomaiseen kylvömenetelmään?

? kasvaisi

? pysyisi samana

? laskisi

? en osaa arvioida

Arvio taloudellisista vaikutuksista

47. Arvioikaa, miten suorakylvömenetelmän käyttöönotto vaikuttaisi kokonaisuudessaan tilanne taloudelliseen kannattavuuteen

? positiivisesti

? ei vaikutusta

? negatiivisesti

? en osaa arvioida

48. Arvioikaa tämän hetkisten tietojenne perusteella, joutuisitteko lisäämään/vähentämään lannoitemääriä suorakylvöön siirtymisen vuoksi?

? kyllä

? ei

? en osaa arvioida

49. Arvioikaa tämän hetkisten tietojenne perusteella, miten torjunta-aineiden käyttö muuttuisi suorakylvölohkoilla?

? Lisääntyisi,

? Rikkakasvien torjunta

? Tautien torjunta

? Tuholaisten torjunta

? Ei muuttuisi

? Vähenisi

50. Olisiko suorakylvöön siirtyminen mielestänne ympäristön kannalta

? positiivinen asia

? yhdentekevä asia

? negatiivinen asia

? en osaa arvioida

51. Arvioikaa suorakylvön vaikutusta seuraaviin ongelmiin

	ongelma parantunut selvästi	ongelma parantunut jonkin verran	ei vaikutusta	ongelma pahentunut jonkin verran	ongelma pahentunut selvästi
Lätäköiden muodostuminen	1	2	3	4	5
Norojen muodostuminen	1	2	3	4	5
Liettyminen	1	2	3	4	5
Kuorettuminen	1	2	3	4	5
Poutiminen	1	2	3	4	5
Peltojen kantavuus	1	2	3	4	5

52. Mistä suorakylvöön liittyvistä aiheista haluaisitte saada lisää tietoa ja koulutusta

? suorakylvöön siirtymisen edellytyksistä

? koneista ja kalustosta

? ympäristövaikutuksista

? viljelytekniikasta

? tutkimustuloksista

? muusta, mistä?

_____

53. Missä muodossa haluaisitte saada tiedon?

? alan lehdistä

? koulutustilaisuuksissa

? kotiin postitettavana materiaalina

? internetin tai sähköpostin välistyksenä

? muuten, miten?

_____