

Laiduntamisen ja  
suojavyyöhykkeiden vaikutukset  
pintamaan rakenteeseen ja  
vesitalouteen

## Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 27

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry

Simonkatu 12 A 11

00100 Helsinki

puh (09) 694 2100

fax (09) 694 2677

Päätoimittaja Rauno Peltomaa

Kannen kuva Liisa Pietola, Haltian tila Helsingissä 2007

Taitto Juha Peltomaa

Painopaikka Multiprint Oy, Helsinki 2007

Tämän julkaisun on kustannut Salaojituksen Tukisäätiö

ISBN 978-952-5345-17-9

# Sisällysluettelo

*Liisa Pietola ja Markku Yli-Halla*

## **Laiduntamisen ja suoja-vyöhykkeiden vaikutukset pintamaan rakenteeseen ja vesitalouteen**

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Johdanto .....                                      | 3  |
| 2 | Aineisto ja käytetyt menetelmät.....                | 6  |
| 3 | Tulokset ja niiden tarkastelu .....                 | 9  |
| 4 | Yhteenveto .....                                    | 15 |
|   | Kirjallisuus .....                                  | 17 |
|   | Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet..... | 19 |



Liisa Pietola<sup>1)</sup> ja Markku Yli-Halla<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Helsingin yliopisto, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos

<sup>2)</sup>MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), Maaperä ja ympäristö

# Laiduntamisen ja suoja- vyöhykkeiden vaikutukset pintamaan rakenteeseen ja vesitalouteen

## I Johdanto

Maataloudesta vesistöihin kohdistuva ravinne- ja kiintoainekuormitus ajoittuu pääosin kevään ja myöhäissyksyn valunhuippuihin. Maan tulisi tällöin pystyä imeämään mahdollisimman hyvin lumen sulamisvesiä ja sateita, jottei pintavaluntaa pääsisi syntymään. Pintavalunta on haitallista, koska se irrottaa maa-ainesta ja kuljettaa sitä vesistöihin eli synnyttää vesieroosiota. Nopea vedenläpäisy edellyttää, että maan rakenne on huokoinen ja kestävä veden läpäistessä maata. Tiivistyneessä maassa vettä nopeasti johtava huokosto on tukossa. Mikäli tiivistämiseen liittyy hiertämistä, pintamaan kantavuus heikentyy ja eroosioalttius kasvaa, mikä lisää maahiukkasiin sitoutuneen fosforin huuhtoutumisriskiä. Myös kasvin juuristo tukkii vedenläpäisylle tärkeitä suuria huokosia, mikä vaikuttaa suojakaistojen toimivuuteen vedenläpäisijoinä. Suojakaistojen veden imeytymiskykyä ei ole juurikaan tutkittu. Samoin tallauksen aiheuttamasta tiivistys- ja hiertämisvaikutuksista maan vedenjohtavuus- ja lujuusominaisuuksiin on hyvin vähän tutkittua tietoa.

Seuraavassa tarkastellaan maan rakenneaurioita, pintavaluntaan vaikuttavia maaperätekijöitä sekä laitumien ruokintapaikkojen aiheuttamaa fosforikuormitusriskiä. Kokeellisessa osassa mitattiin laiduntamisen ja suojavyöhykkeiden vaikutuksia pintamaan rakenteeseen ja vesitalouteen. Tämä katsaus on loppuyhteenveto tutkimuksessa saaduista tuloksista.

## Maan rakenneauriot

Raskaan peltoliikenteen aiheuttamat maan rakenneauriot ja haitallinen tiivistyminen on ollut keskeinen tutkimuskohde lähes 40 vuotta. Tutkimukset alkoivat Pohjoismaissa savimailla, jotka ovat erityisen herkkiä tiivistymiselle (Häkansson ym. 1987). Maan haitallinen tiivistyminen liitetäänkin yleensä peltomaahan ja nimen-

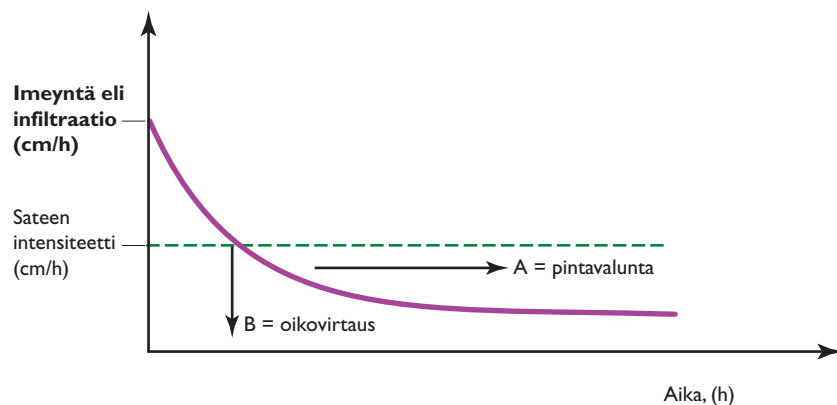
omaan traktorien pyörien tallaukseen. Tiedetään, että haitallinen pohjamaan tiivistyminen raskaiden akselipainojen alla heikentää juurien kasvumahdollisuuksia ja vedenläpäisyä.

Laiduntamisen vaikutuksia maan rakenteeseen on tutkittu huomattavasti vähemmän. Nurmiviljely on yleensä eduksi maan rakenteelle, mutta laitumilla karjan tallausvaikutukset vaurioittavat maan rakennetta. Alaspäin suuntautuvan maan tiivistämisen lisäksi laidunmailla tapahtuu sorkkien aiheuttamaa kolmiulotteista maan hiertämistä, joka heikentää varsinkin pintamaan lujuusominaisuuksia eli kantavuutta. Ulkomaisissa tutkimuksissa karjan tallaus on todettu vahingoksi jopa karkeilla mailla (Mullholland ja Fullen 1991, Horn 1998). Myös lammas- ja porotalous rasittaa maan rakennetta (Profitt ym. 1995, Peth ym. 2003) ja aiheuttaa eroosiota.

Tiedetään, että maan tiivistyessä traktorin pyörän alla etenkin suurten huokosten määrä laskee (Aura 1983, Alakukku 1996). Varsinkin jatkuvien suurten huokosten muuttuminen pienemmiksi ja epäjatkuviksi heikentää määrän maan vedenjohtavuutta. Maan kokonaishuokostilavuus ei kuitenkaan laske kohtuullisella tiivistämisellä haitallisesti, ja maan vedenpidätyskyky kasvien tarpeisiin parantuu suurten huokosten muuntuessa pienemmiksi vettä pidättäväksi huokosiksi (Pietola 1995). Tiivistämisen tullessa rankemmaksi huokostilavuus pienenee oleellisesti, ja tilanteen edelleen pahentuessa kantavuus heikkenee. Kantavuuden väheneminen on yhteydessä heikentyneisiin maan lujuusominaisuuksiin. Kun lujuusominaisuudet heikentyvät, maa-aines on alttiimpi veden kuljetettavaksi, eli maan eroosioalttius kasvaa. Tällöin maa-ainekseen sitoutuneiden ravinteiden, erityisesti fosforin, pitoisuus pintavirtailuvdedessä kasvaa.

## Pintavalunnan synty

Pintavalunnan synnyn edellytyksenä on maan pinnalle kertynyt irtovesi. Vesi lähtee virtaamaan kaltevaa maan pintaa pitkin ns. pintavirtailuvetenä tai maan suurten huokosten läpi nopeina oikovirtauksina silloin kun sataa enemmän kuin maa pystyy imemään (kuva 1.). Pinta- ja läpivalunnat vievät helposti maa-ainesta mukanaan,



Kuva 1. Pintavalunta syntyy kun sateen määrä tietyssä ajassa ylittää veden imeytymisnopeuden. Tuloksena on lätkäkö, josta vapaa vesi lähtee virtaamaan joko maan pintaa pitkin (A) tai painuu oikovirtauksena maan läpi suuria huokosia pitkin (B) (Addiscott ja Dexter 1994).

mikäli maan mururakenne ei kestä vettymistä vaan hajoaa. Puhutaan varsinaisesta vesieroosiosta ja vertikaalieroosiosta. Kummankin ilmiön taustalla on maan imen-täkyvyn nopeus, jota voimme säädellä maanhoidollisin keinoin. Sateen määräin tai lumen sulantaan emme voi vaikuttaa. Koska sadannan määrä vaihtelee paikallisesti, myös pintavalunnan synty on hyvin paikkakohtaista ja vaikeasti ennustettavissa. Keinoksi pintavalunnan ehkäisyyn jää vettä kestävä maan huokosrakenteen ylläpi-täminen, mikä tarkoittaa maan tiivistämisen ja mekaanisen rasituksen välttämistä.

Myös kasvillisuus ja maan pieneliöstön toiminta vaikuttavat pintavalunnan syn-tyyn. Juurien toiminta ja maaeläinten kaivannot luovat maahan suuria jatkuvia kanavia, mikä hillitsee pintavalunnan syntyä. Juuriston ohuet juuret ja juurikar-vat sekä sienrihmat ja mikrobilima lujittavat maan rakennetta ja pitävät huokos-ton avonaisena. Hyvin sidotut murut pysyvät kasassa, vaikka maa olisi vedellä kyl-lästyneessä tilassa. Toisaalta maan eliötoiminta edesauttaa pintavalunnan syntyä, mikäli juuret tukkivat maan huokostoa tai eliötoiminta tuottaa vettä hylkiviä vaha-maisia aineita.

## Juuristotukkeumat ja vedenhylkivyyt

Lähes tai täysin vedellä kyllästetyssä tilassa vesi liikkuu nopeasti alaspäin suurissa huokosissa. Jos juuret täyttävät maan suuret huokokset, määrän maan vedenjohta-vuus kuitenkin hidastuu (Richner ja Smucker 1993). Myös juurieritteet voivat tuk-kia huokosia ja hidastaa veden liikkumista alaspäin (Hallett ym. 2003). Tämä lisää luonnollisesti pintavalunnan syntymisriskiä.

Kuivemmissä olosuhteissa vesi liikkuu pienemmissä huokosissa, eikä maan tii-vistäminen heikennä veden liikkeitä niin kuin märissä olosuhteissa. Kasvustolla on kuitenkin merkitystä pintavalunnan synnyssä myös kuivissa olosuhteissa, sillä tällöin pintakasvillisuus saattaa estää maan kostumista. Kysymys on eloperäisen aineksen vaha-aineista, jotka hidastavat veden imeytymistä maahan. Jo Witteri ym. (1991) tähdensi, että maanpinnan vedenhylkivyyt (hydrofobisuus) olisikin otettava huomioon pintavalunnan riskejä arvioitaessa. Erityisesti nurmilla on todettu huomattavaa vedenhylkivyyttä, ts. nurmen kasvualusta ei kostu niin nopeasti kuin esi-merkiksi paljaaksi muokattu kivennäismaa. Hidas kostuminen hidastuttaa imeyty-mistä ja kasvattaa pintavalunnan syntymisriskiä. Tämä voi koitua ongelmaksi van-hoilla suojakaistoilla.

## Laidunten fosforitila ruokintapaikoilla

Laidunnettavien nurmien ongelmana on lisäksi se, että eläinten ulosteet kertyvät maan pintaan, jossa ne ovat alttiina veden liottavalle vaikutukselle ja eroosiolle. Usein ruokinta- ja juottopaikat ja jaloittelutarhat ovat lähes mulloksella, kun kas-villisuus on kulunut pois. Ulosteet kertyvät samaan ohueen pintamaahan, jossa pintavaluntavesikin kulkee. Maan fosforivaroista liukenee fosforia pintavaluntave-teen sitä enemmän, mitä suurempi maan fosforipitoisuus on (Uusitalo ja Jansson 2002, Jansson ja Tuhkanen 2003). MTT:n tutkimukset (Yli-Halla ym. 1998) ovat osoittaneet, että laidunten ruokintapaikoilla on yleisesti erittäin runsaasti helppo-liukoista fosforia.

## 2 Aineisto ja käytetyt menetelmät

Tämän tutkimuksen aineisto perustuu mittauksiin, jotka on tehty savi- ja hietamaalla sijaitsevilla laitumilla sekä savimaalla vierekkäin sijaitsevilla suojavyöhykkeellä ja kynnöksellä. Savimaan kohteet olivat Jokioisilla Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen MTT:n tutkimuspaikoilla: laidun Nummelan tilalla, suojakaista ja kynnös Lintupajussa. Hietamaan laidun sijaitti MTT:n Pohjois-Savon tutkimusasemalla Maaningalla. Mittauksia tehtiin suoraan kenttäolosuhteissa sekä Helsingin ja Kielin yliopistojen laboratorioissa.

### Tutkimuskohteiden kuvaus

Nummelan tilan timotei-koiranheinä -laidun oli perustettu 1998 ja laidunnettu 5 kk vuodesta 1999 (2,9 nautaa/ha) kolmena kasvukautena. Ruokinta- ja juottopaikka on ollut koko ajan samassa kohtaa (Kuva 2.). Juomapaikan ympärillä oli mullokselle kulunut soikea alue, jonka pituus oli 16 m ja leveys 5 m. Maaningan timotei- niittynurmikka -laidun oli perustettu vuonna 2000 ja laidunnettu 5 kk vuonna 2001 (2,6 lehmää/ha).

Laiduntamisen vaikutuksia maan rakenteeseen ja veden imentäkykyyn tutkittiin savimaalla neljästä eri kohdasta ja hietamaalla kohdista 1) ja 4):

- 1) juomapaikan läheisyydestä, jossa maa oli täysin pilalle tallattu
- 2) juomapaikan läheisyydestä, jossa maa oli lähes pilalle tallattu
- 3) laitumesta, jossa sorkka oli läpäissyt maan
- 4) hyväkuntoisesta laitumesta



Kuva 2 Nummelan savimaan laidun, etualalla juomapaikan valitut 4 mittauspistettä.



Lisäksi mittauksia tehtiin suojavyöhykkeellä sekä siihen rajoittuvalla kynöksellä. Kymmenen metriä leveä nurmikaista oli perustettu hiesusavimaalle keväällä 1991 (Uusi-Kämpä ja Kilpinen 2000). Suojakaista on rinteessä, jonka kaltevuus on 12 %. Nurmikaistalla kasvaa pääasiassa nurminataa, timoteitä, valkoopilaa ja voikukkaa. Kasvusto on niitetty ja korjattu pois kaistalta vuosittain. Vuosien kuluessa kaista on alkanut sammaloitua.

## Mittaukset ja näytteenotto

Veden imeytymismittaukset ja maanäytteiden otto tehtiin keväällä 2002 ennen kasvukauden alkua. Maan imeytymiskyky määritettiin läpimitaltaan 80 cm:n renkailla (Kuva 3). Mariotte-kuplatornien (läpimitta 18 cm, korkeus 95 cm) ja 10 cm:n syvyyteen (L) maahan hakatun metallilieriöiden ( $A = 0,47 \text{ m}^2$ ) avulla vapaan vedenpinta ( $H_1$ ) pidettiin 10 cm maan pinnan yläpuolella ja tietyn vesitilavuuden (V) annettiin imeytyä maahan tietyssä ajassa (t) kunnes vakio imeytymisnopeus eli kyllästetyn maan vedenjohtavuus ( $\sim K_s$ ) saavutettiin. Vedenjohtavuus K laskettiin Darcyn laista:

$$\frac{V}{At} = K \frac{H_1}{L} + K$$

Kokonaishuokostilavuus määritettiin pF-lieriöiden ( $V = 200 \text{ cm}^3$ ) tilavuuskosteutena, kun lieriöt olivat täysin kyllästettyjä. Lieriöiden suurten huokosten tilavuuksia tutkittiin alipainemenetelmällä matriisipotentialissa  $y = 1 \text{ kPa}$  (huokoskoko 300 mm) ja ylipaineella  $y = 10 \text{ kPa}$  (huokoskoko 30 mm). Näytteet otettiin 0–5 cm:n, 10–15 cm:n, 20–25 cm:n sekä 30–35 cm:n syvyyksistä. Irtotiheys eli kuiva tila-



Kuva 3 Veden imeytymismittaukset käynnissä Nummelan savimaan juomapaikalla huhtikuussa 2002.

vuuspaino laskettiin jakamalla 105° C:ssa kuivatun maaliierion massa sen tilavuudella. Pintamaanäytteiden (0–5 cm) vedenhylkivyyttä määritettiin huokosmäärittämisen jälkeen. Vedenhylkivyyttä määritettiin vesipisaran pudotustestillä (Water Drop Penetration Time), joka varmennettiin alkoholiprosenttiteillä (Dekker ja Ritsema 1997). Lisäksi Nummelaan savimaan juomapaikalta mitattiin helppoliukoisesta fosforin pitoisuus viljavuusanalyyseissä käytettävällä happamalla ammoniumasetaatitautolla maan eri kerroksissa näistä pF-lieriöistä (Kuva 4). Maan huokosrakenne ja hydrofobisuusmääritykset tehtiin Helsingin yliopistossa ja fosforimääritys MTT:ssä Jokioissa.

Suojakaistan ja viereisen kynnöksen juuritiheys määritettiin maan kerrosnäytteistä erikseen pestyjen juurien kuva-analyyseillä (Pietola 1998). Tilavuudeltaan tunnetut maanäytteet ( $V = 400 \text{ cm}^3$ ) otettiin 0–10 cm:n, 10–20 cm:n sekä 20–30 cm:n syvyydeltä. Analyysi tehtiin Helsingin yliopistossa.

Maan ilmanläpäisevyyden, kyllästetyn maan vedenjohtavuuden sekä lujuusominaisuuksien laboratoriomäärityksiä varten otettiin savimaan laitumelta halkaisijaltaan 10 cm:n leiriöt (korkeus 3 cm) 0–3 cm:n, 10–13 cm:n, 20–23 cm:n sekä 30–33 cm:n syvyyksiltä. Jokaisesta syvyydestä otettiin yhteensä 10 lieriötä. Kun syvyyksiä oli neljä sekä kohteita neljä (eri tallausasteet), lieriöitä otettiin yhteensä 160. Lieriöt analysoitiin Saksassa, Christian-Albrechts-yliopistossa Kielissä. Ennen koheesion ja kitkan määrityksiä näytteistä analysoitiin ilmanläpäisevyys k Hartgen ja Hornin (1999) menetelmän mukaan sekä kyllästetyn maan vedenjohtavuus  $K_s$  Kluten ja Dirkesenin (1986) menetelmän mukaan. Koheesio ja kitka määritettiin Mohr-Coulombin -mallin mukaan normaalipaineilla 20, 50, 150 ja 300 kPa (Horn ja Baumgartl 2000).



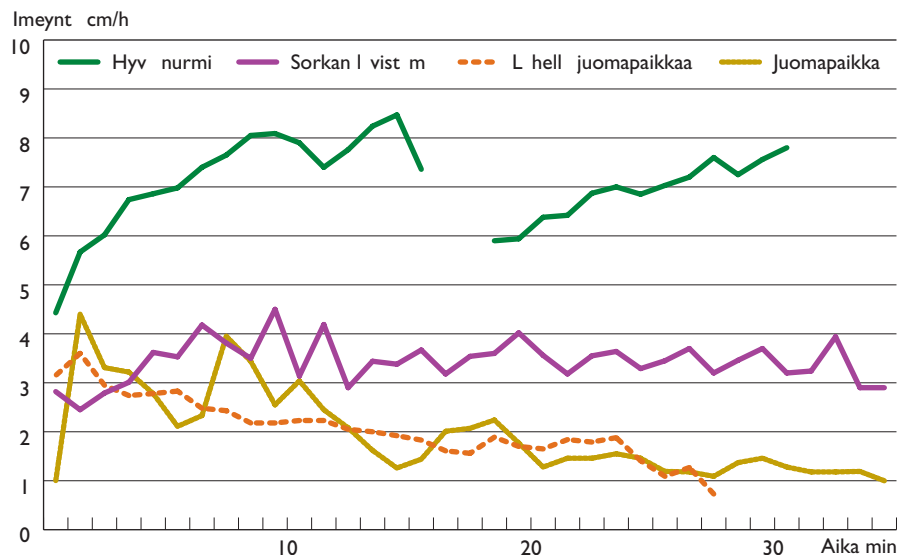
Kuva 4 Vedenhylkivyyden mittaus vesipisaran pudotustestillä, jossa mitattiin pisaran imeytymisaika.

### 3 Tulokset ja niiden tarkastelu

#### Tallaaminen heikensi ratkaisevasti veden imeytymistä

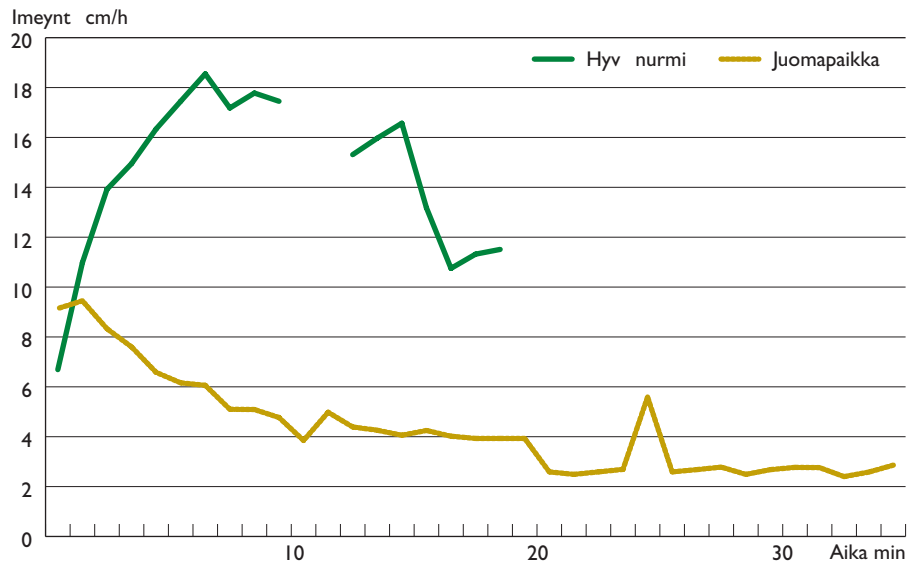
Jo vähäinen tallaaminen heikensi ratkaisevasti savimaan laitumen vedenjohtavuutta kyllästetyssä tilassa: Kun täysin kostunut hyväkuntoisen nurmen pintakerros läpäisi vettä metallilieriöstä noin 7 cm/h, muutaman sorkan painauman alla vedenjohtavuus oli 3 cm/h. Tallatulla juomapaikalla märän maan vedenjohtavuus oli enää 1 cm/h ja sen läheisyydessä hieman alle 2 cm/h. Myös hietamaalla vedenjohtavuus laski merkittävästi, vaikka takana oli vasta yksi laidunkausi; tallaamattomalla laitumella johtavuus oli noin 13 cm/h mutta juomapaikalla vain 2,5 cm/h.

Vedellä kyllästettyjen maiden vedenjohtavuus on luettavissa kuvista 5 ja 6, kun maa oli läpäissyt vettä 20–30 minuuttia. Vaikka veden imeytymistä kuvaavat mittaukset aloitettiin heti roudan sulettua, maiden pinnat olivat kuivia ja maan kostumiseen kului aikaa. Klassisen Green-Amptin mallin mukaan imeytymisnopeus pienenee sitä mukaa kun maa kostuu eli ajan kuluessa (vrt. kuva 1). Imeytymisnopeuden hidastuminen riippuu ennen kaikkea vesipotentiaalieroista, jotka tasoittuvat maan kostuessa kohti kyllästettyä tilaa. Esimerkiksi Nummelan tallatun laitumen pinnan kosteus oli 0–10 cm:n kerroksessa 60–70 % kyllästetyn maan tilavuuskosteudesta. Siten suurin imeytymisnopeus mitattiin heti mittausten alussa. Tällöin mahdollinen rankkasade ei aiheuttaisi pintavaluntaa niin helposti kuin maan ollessa täysin märkä, jolloin imeyntä on vakiintunut alhaisimmalle tasolle.



Kuva 5 Savimaan veden imeytymisnopeus (cm/h) 10 cm:n korkuisesta lätkästä ajan kuluessa (min). Hyväkuntoisen laidunnurmen veden kulutus oli suuri, ja kuvaajan katkon aikana vesivarasto täytettiin. Lopulliset, kostuneen savimaan imeytymisnopeudet olivat:

- Hyväkuntoisella laitumella 7,2 cm/h
- Sorkan lävistämällä laitumella 2,9 cm/h
- Juomapaikan lähellä 1,7 cm/h
- Juomapaikalla 1,0 cm/h



**Kuva 6** Hietamaan veden imeytymisnopeus (cm/h) 10 cm:n korkuisesta lätäköstä ajan kuluessa (min). Hyväkuntoisen laidunnurmen veden kulutus oli suuri, ja kuvaajan katkon aikana vesivarasto täytettiin. Lopulliset, kostuneen hietamaan imeytymisnopeudet olivat:

- Hyväkuntoisella laitumella 13,2 cm/h
- Juomapaikalla 2,4 cm/h

Toisaalta useiden maalajien kostumisen nopeus on aluksi varsin olematon, mikäli maa on alkujaan kuivaa. Tällaiset maat ovat vettä hylkiviä (Dekker ja Ritsema 1997). Vettä hylkivissä maissa imeytyminen ei heikennykään heti maan alkaessa kostua, vaan aluksi imentäkyky paranee. Tässäkin tutkimuksessa talleamattomien nurmien imeytymisnopeus aluksi nousi ja vasta 15–20 minuutin jälkeen kääntyi laskuun, kun maa oli kostunut. Talleamattomat nurmet todettiininkin laboratoriotestissä vettä hylkiviksi, sillä vesipisaran imeytymiseen ilmakeivään maahan meni yli minuutti (Taulukko 1). Vaikka luonnossa maat eivät olleetkaan ilmakeivä, maan pinnan kuori oli kuiva ja ilmeisesti vettä hylkivä imentämittausten alussa.

Mullokselle tallatut juomapaikat olivat voimakkaammin vettä hylkiviä kuin kasvipeitteiset laitumet; vesipisaran imeytymiseen meni yli 10 minuuttia (Taulukko 1). Oletettavasti maan huokosrakenteen tuhoutuminen rajoitti tallattujen juomapaikojen vedenjohtavuuden niin heikoksi, ettei voimakas vedenhylkivyyden ehtinyt vaikuttaa imeytymisnopeuteen. Siten erittäin voimakkaasti hydrofobisilla juomapaikoilla imeytyminen oli hidasta mittauksen alusta loppuun ilman selkeää imeytymisen nopeutumista maan alkaessa kostua.

## Tallaus tuhosi maan kantavuuden ja huokosrakenteen

Tallaus hiersi savimaan pinnan homogeeniseksi massaksi, jossa kantavuus oli olematon, sillä lujuusarvoa kuvaava koheesio oli tallatun maan pintamaassa 1 kPa (Taulukko 2). Vastaavasti maan huokosrakenteen jatkuvuutta kuvaava ilman läpäisevyys oli suuri (149 neliönanometriä) hierretyissä pintamaassa, mutta ilmanläpäisevyys oli vain 17 neliönanometriä 10 cm:n syvyydessä. Talleamattomalla laitumella ilmanläpäisevyys oli 10 cm:n syvyydessä lähes 40 nm<sup>2</sup> (Taulukko 3). Myös laboratorii-

**Taulukko 1.** Eri maiden vedenhyökkivyyden heikoinnissa vettä hylkivästä (paljas kynnös) voimakkaimmin vettä hylkivään (hietamaan juomapaikka). Numerot osoittavat keskimääräisen läpäisyajan (s) puhtaille vesipisaralle ilmakehään maahan. Luokituksen mukaan maan on voimakkaasti vettä hylkivä, jos vesipisaran imeytymisaika on 60–600 s ja erityisen voimakkaasti hylkivä, jos imeytymisaika on yli 600 s. Tulokset keskimäärin 20 toiston keskiarvoja.

|                     | Vesipisaran imeytymisaika (s.) |
|---------------------|--------------------------------|
| Kynnös (savi)       | < 5                            |
| Hyvä laidun (hieta) | 130                            |
| Suojakaista (savi)  | 410                            |
| Hyvä laidun (savi)  | 540                            |
| Juomapaikka (savi)  | 850                            |
| Juomapaikka (hieta) | 1380                           |

**Taulukko 2.** Tallausvaikutukset savimaan koheesioon savimaan eri syvyyksissä hieman kenttäkapasiteettia kosteammassa tilassa (matriisipotentiaali -6 kPa). Tulokset 2 toiston keskiarvoja.

| Maan syvyys (cm) | koheesio C (kPa) |       |       |       |
|------------------|------------------|-------|-------|-------|
|                  | 0–3              | 10–13 | 20–23 | 30–33 |
| Hyvä laidun      | 9                | 20    | 24    | 34    |
| Hieman tallattu  | 19               | 29    | 20    | 25    |
| Tallattu laidun  | 14               | 29    | 33    | 28    |
| Juomapaikka      | 1                | 28    | 20    | 17    |

**Taulukko 3.** Savimaan tallausvaikutukset ilmanläpäisevyyteen k (toistoja 8) sekä kyllästetyn maan vedenjohtavuuteen  $K_s$  (toistoja 2) maan eri syvyyksissä.

| Maan syvyys cm  | k (nanoneliometriä) |       |       |       | $K_s$ (cm h <sup>-1</sup> ) |       |       |       |
|-----------------|---------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|
|                 | 0–3                 | 10–13 | 20–23 | 30–33 | 0–3                         | 10–13 | 20–23 | 30–33 |
| Hyvä laidun     | 61                  | 39    | 70    | 30    | 5,0                         | 2,9   | 3,9   | 1,1   |
| Hieman tallattu | 89                  | 34    | 23    | 12    | 1,9                         | 0,5   | 1,3   | 0,1   |
| Tallattu        | 67                  | 33    | 39    | 43    | 2,8                         | 1,4   | 0,7   | 0,4   |
| Juomapaikka     | 149                 | 17    | 27    | 21    | 14,7                        | 0,4   | 2,6   | 0,9   |

ossa määritetty lieriönäytteiden vedenjohtavuus heikentyi 10 cm:n syvyudessa tallauksen johdosta erittäin alhaiseksi, 0,4 cm:iin tunnissa, mutta pysyi halkeilleessa pintamaassa 0–3 cm:n syvyudessa hyvin korkeana ollen lähes 15 cm/h. Laboratoriomittauksen perusteella tallaatun laidun läpäisi 10 cm:n syvyudessa vettä selkeästi paremmin kuin tallatut kohdat (Taulukko 3).

Vielä 10 cm:n alapuolellakin, jossa hiertämisvaikutusta ei ollut enää havaittavissa, savimaan irtotiheys oli juomapaikalla suurempi ja kokonaishuokostilavuus pienempi kuin tallaamattomalla nurmella. Samalla suurten huokosten osuus pieneni; läpimitaltaan yli 30 µm:n huokokset 4,9 prosentista 1,5 prosenttiin maan kokonaistilavuudesta (Taulukko 4). Yli 30 µm:n huokokset ovat keskeisiä huokosia, sillä näissä

**Taulukko 4.** Tallausvaikutukset savimaan irtotiheyteen (eli kuivaan tilavuuspainoon) sekä huokoisuuteen Nummelan laitumella. Tulokset 10 toiston keskiarvoja.

|                                  | Maan syvyys, cm |       |       |       |
|----------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|
|                                  | 0–5             | 10–15 | 20–25 | 30–35 |
| Irtotiheys (g cm <sup>-3</sup> ) |                 |       |       |       |
| Hyvä laidun                      | 0,90            | 1,06  | 1,08  | 1,13  |
| Hieman tallattu                  | 0,96            | 1,13  | 1,15  | 1,14  |
| Tallattu                         | 0,94            | 1,11  | 1,15  | 1,13  |
| Juomapaikka                      | 0,88            | 1,14  | 1,16  | 1,09  |
| Kokonaishuokoisuus (%)           |                 |       |       |       |
| Hyvä laidun                      | 57,1            | 55,3  | 56,2  | 55,5  |
| Hieman tallattu                  | 54,9            | 50,5  | 53,3  | 56,4  |
| Tallattu                         | 57,2            | 51,6  | 53,2  | 60,3  |
| Juomapaikka                      | 60,2            | 50,0  | 53,8  | 59,5  |
| > 0,3 mm:n huokokset (%)         |                 |       |       |       |
| Hyvä laidun                      | 4,1             | 1,2   | 1,0   | 0,6   |
| Hieman tallattu                  | 5,1             | 1,9   | 2,7   | 1,7   |
| Tallattu                         | 3,4             | 1,0   | 1,0   | 0,9   |
| Juomapaikka                      | 2,8             | 0,5   | 0,7   | 0,6   |
| > 30 µm:n huokokset (%)          |                 |       |       |       |
| Hyvä laidun                      | 8,7             | 4,9   | 3,7   | 1,8   |
| Hieman tallattu                  | 8,3             | 3,4   | 4,1   | 2,1   |
| Tallattu                         | 8,2             | 2,3   | 2,0   | 1,7   |
| Juomapaikka                      | 9,4             | 1,5   | 1,9   | 2,2   |

**Taulukko 5.** Tallausvaikutukset hietamaan irtotiheyteen (eli kuivaan tilavuuspainoon) sekä huokoisuuteen Maaningan laitumella. Tulokset 8 toiston keskiarvoja.

|                                  | Maan syvyys, cm |       |       |       |
|----------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|
|                                  | 0–5             | 10–15 | 20–25 | 30–35 |
| Irtotiheys (g cm <sup>-3</sup> ) |                 |       |       |       |
| Hyvä laidun                      | 1,30            | 1,41  | 1,41  | 1,49  |
| Juomapaikka                      | 1,39            | 1,45  | 1,40  | 1,46  |
| Kokonaishuokoisuus (%)           |                 |       |       |       |
| Hyvä laidun                      | 51,1            | 49,3  | 50,0  | 46,1  |
| Juomapaikka                      | 48,0            | 48,0  | 47,1  | 47,2  |
| > 0,3 mm:n huokokset (%)         |                 |       |       |       |
| Hyvä laidun                      | 6,8             | 5,2   | 5,8   | 6,7   |
| Juomapaikka                      | 7,2             | 8,7   | 9,3   | 9,8   |
| > 30µm:n huokokset (%)           |                 |       |       |       |
| Hyvä laidun                      | 11,2            | 9,9   | 10,6  | 11,4  |
| Juomapaikka                      | 9,5             | 11,5  | 12,8  | 14,2  |



huokosissa painovoima pystyy kuljettamaan vettä nopeasti alaspäin. Lämpimiltään yli 300 µm:n huokokset laskivat reilusta prosentista puoleen prosenttiin siirryttäessä hyvältä laitumelta juomapaikalle. Nämä juurien kokoluokkaa olevat makrohuokokset olivat osittain juurien valtaamia, mikä selittää makrohuokosten pienen osuuden maatilavuudesta jopa tallaamattomalla laitumella (1 % 10–25 cm:n syvyydessä).

Hietamaan pinta ei hiertynyt irtonaiseksi ilmapaksiksi mullokseksi kuten savimaan pinta, mikä voidaan havaita irtotiheydestä, joka nousi merkittävästi pintamaassa tal-lauksen vuoksi (Taulukko 5). Kokonaishuokostilavuus vastaavasti pieneni 0-5 cm:n syvyydessä. Hietamaalla ei kuitenkaan todettu merkittäviä eroja maan huokosten kokojakaumassa. Syynä lienee vain yhden kasvukauden laidunnus, mutta osittain myös nurmen voimakas juuristo, joka ilmeisesti vaikeutti mittauksia. Koska vedenjohtavuus kuitenkin heikentyi ratkaisevasti, maan huokosten jatkuvuus muuttui tal-lauksen myötä. Hietamaan tulos osoittaa, että aineiden (veden, kaasujen) kuljetuk-sessa maan huokosten jatkuvuudella on suurempi merkitys kuin huokosten koolla, mikäli maan tilavuudesta vähintään 5 % on suuria läpimitaltaan yli 300 µm:n huokosia. Näitä juurien kokoluokkaa olevia huokosia mitattiin jopa hieman enemmän juomapaikalla, josta kasvusto oli tuhoutunut.

## Juomapaikat fosforin pistekuormittajina

Tutkimuksen mukaan juomapaikat ovat otollisia pintavalunnalle hitaan veden imey-tymisnopeuden vuoksi. Lisäksi hiertynyt pintamaa on irtonaista vailla koheesiota ja siten altis vesivirtojen vietäväksi. Erityisen vahingolliseksi ilmiön tekee se, että juomapaikkojen pintamaa sisältää paljon helppoliukoista fosforia. Tässä tutkimuk-sessa savimaan juomapaikalla fosforia oli 0-5 cm:n kerroksessa neljän osanäytteen keskiarvona 32 mg litrassa (vaihteluväli 31-34) ja 10-15 cm:n syvyydessä 20 mg (vaihteluväli 16-24). Tulos 20-25 cm:n syvyydestä otetussa näytteessä, joka koos-tuu luultavasti jo pääasiassa muokkauskerroksen alapuolella olevasta maasta, oli enää 2 mg litrassa.

Viljavuustutkimuksen tulosten tulkinnan mukaan 0–5 cm:n ja 10–15 cm:n ker-roksessa mitatut helppoliukoisen fosforin pitoisuudet edustavat viljavuusluokkia korkea ja hyvä. 10–15 cm:n kerroksessa mitatun pitoisuuden voidaan olettaa val-linheen juottoaikan koko muokkauskerroksessa ennen laiduntamisen aloittamista. Laidunvuosina juottoaikan pintakerroksen helppoliukoisen fosforin pitoisuus näyt-tää siis kohonneen noin 10 mg/l. Aivan pinnassa lisäyksen voidaan olettaa olleen tätäkin suurempi (vrt. Jansson ja Tuhkanen 2003, s. 45).

## Vanhan suojakaistan veden imeytyminen heikko

Savimaan 10-vuotisen suojakaistan vedenjohtavuus oli 3 cm/h maan kostuttua, eli ratkaisevasti heikompi kuin 3-vuotisen tallaamattoman laidunnurmen (7 cm/h). Suo-jakaistan vedenjohtavuus oli heikko myös kuivissa oloissa, mikä oletettavasti johtui sammaloituneen pinnan vedenhylkivyydestä (Taulukko 1) . Suojakaistan imeyty-misnopeus oli myös huomattavasti heikompa kuin viereisen kynnöksen. Kynnök-sen vedenjohtavuus vastasi savimaan laitumen vedenjohtavuutta ollen aluksi kui-vana 10 cm/h ja lopuksi märkänä 5 cm/h (Kuva 7).

Suojakaistalla todettiin enemmän hyvin suuria huokosia ( $\varnothing > 300 \mu\text{m}$ ) kuin vie-reisessä kynnetyssä maassa. Pintamaassa 0–5 cm:n syvyydessä näitä juurien koko-

luokkaa olevia huokosia oli suojakaistalla 7,0 % ja kynnöksellä (imeytymismittausten jälkeen) 4,8 %. Syvemmällä suurina huokosia oli edelleen eniten suojakaistalla (Taulukko 6). Irtotiheys ja kokonaishuokostilavuus pysyivät lähes samanlaisina.

Juuristotukkeumat lienevät suurin syy vanhan suojakaistan heikkoon vedenjohtavuuteen. Kasvukauden alkaessa juurta mitattiin suojakaistan 0–10 cm:n syvyydeltä jopa 14 cm cm<sup>-3</sup> maatilavuudessa. Syvemmällä 10–20 cm:n kerroksessa juuritiheys oli 7 cm cm<sup>-3</sup> ja 20–30 cm:n syvyydessä vajaa 4 cm cm<sup>-3</sup> (Taulukko 7). Viereisellä kynnöksellä oli jäljellä vain muutamia juuria edelliseltä kasvukaudelta; juuritiheydet olivat kaikissa kerroksissa alle 1 cm cm<sup>-3</sup>.

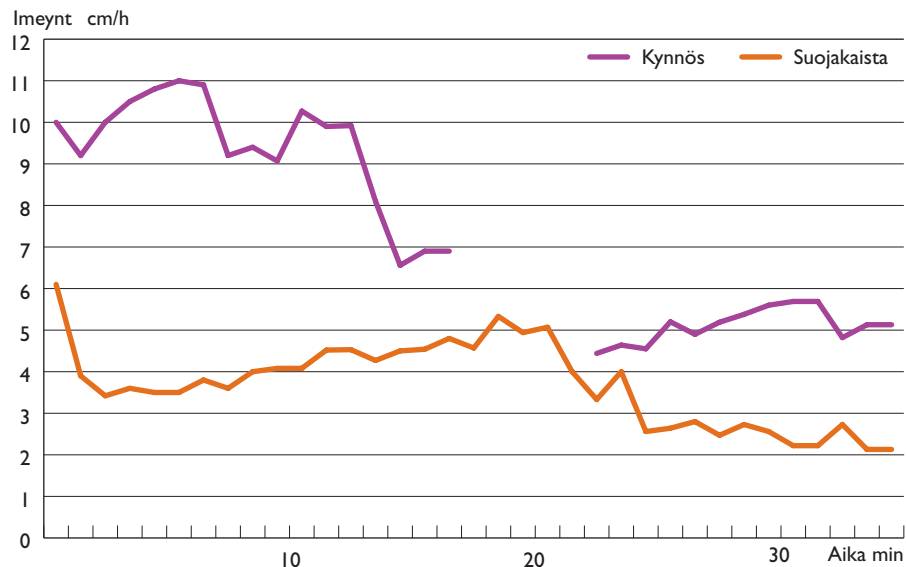
**Taulukko 6.** Kynnöksen ja 10-vuotisen suojakaistan irtotiheys ja huokoisuus savimaalla. Tulokset neljän toiston keskiarvoja veden imeytyksen jälkeen.

|                                  | Maan syvyys, cm |       |       |       |
|----------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|
|                                  | 0–5             | 10–15 | 20–25 | 30–35 |
| Irtotiheys (g cm <sup>-3</sup> ) |                 |       |       |       |
| Suojakaista                      | 1,14            | 1,35  | 1,40  | 1,38  |
| Kynnös                           | 1,17            | 1,30  | 1,37  | 1,37  |
| Kokonaishuokoisuus (%)           |                 |       |       |       |
| Suojakaista                      | 54,6            | 48,7  | 47,8  | 46,0  |
| Kynnös                           | 52,2            | 48,2  | 47,1  | 45,2  |
| > 0,3 mm:n huokokset (%)         |                 |       |       |       |
| Suojakaista                      | 6,9             | 3,1   | 2,4   | 2,1   |
| Kynnös                           | 4,8             | 2,1   | 1,1   | 1,2   |
| > 30µm:n huokokset (%)           |                 |       |       |       |
| Suojakaista                      | 9,4             | 4,4   | 3,4   | 3,1   |
| Kynnös                           | 11,4            | 4,0   | 2,3   | 2,2   |

**Taulukko 7.** Keskimääräiset juuristotiheydet ja juurien paksuudet 10-vuotisessa suojakaistassa sekä viereisellä kynnöksellä huhti-toukokuussa. Kynnös oli viljelyksessä edellisenä kesänä ja kynnetyt syksyllä. Toistoja suojakaistalla 3 ja kynnöksellä 2.

| Syvyys (cm)  | 0–10 | 10–20 | 20–30 | keskiarvo |
|--|------|-------|-------|-----------|
| Juuren pituus maatilavuudessa (cm cm <sup>-3</sup> ) |      |       |       |           |
| Suojakaista  | 13,9 | 6,8   | 3,7   | 8,7       |
| Kynnös   | 0,7  | 0,4   | 0,9   | 0,7       |
| Juuren keskipaksuus (mm)                             |      |       |       |           |
| Suojakaista  | 0,25 | 0,26  | 0,27  | 0,26      |
| Kynnös   | 0,24 | 0,23  | 0,26  | 0,24      |





Kuva 7 Savimaan veden imeytymisnopeus (cm/h) 10 cm:n korkuisesta lätäköstä ajan kuluessa (min). Kynnöksen veden kulutus oli suuri, ja kuvaajan katkon aikana vesivarasto täytettiin. Lopulliset, kostuneen savimaan imeytymisnopeudet olivat:

- Kynnös 5,0 cm/h
- Suojakaista 3,0 cm/h

Verrattuna kynnökseen suojakaistan juuriston pituus oli 0–10 cm:n syvyydessä lähes 20-kertainen. Juuristo käytti maan pintakerroksen (0–10 cm) tilavuudesta lähes 3 %, kun kynnöksellä edellisessä juurien osuus maatilavuudesta oli vain 0,1 %. Tähän tulokseen päästään, kun kerrotaan keskimääräisen juuren säteen ( $= \frac{1}{2}$  juuren paksuus) neliö  $r^2$  juurten pituudella  $L$  ja  $\pi$ :llä (Taulukko 7). Kolme prosenttiyksikköä, jonka juuristo valtaa maan huokostosta, on huomattava osuus maatilavuudesta, kun puhutaan suurista vettä kuljettavista huokosista.

## 4 Yhteenveto

Tulosten mukaan vähäisenkin tallauksen vaikutus ulottui odottamattoman syvälle. Laidunmaiden kyky imeä vettä heikkeni nopeasti ja pintavalunnan syntymisen riski kasvoi. Sorkat hiersivät savimaan koheesion olemattomaksi vähentäen kantavuutta, samalla kun syvemmät kerrokset tiivistyivät vettä heikosti läpäiseviksi. Savimaan suurten huokosten osuus ( $\varnothing > 30 \mu\text{m}$ ) laski lähes 5 prosentista 1,5 prosenttiin juomapaikan tallauksen vaikutuksesta 10 cm:n alapuolella. Hietamaalla, jossa suuria huokosia oli noin 10 % maatilavuudesta, maan huokosjakauma ei muuttunut merkittävästi tallauksen johdosta. Sen sijaan huokosten jatkuvuus tuhoutui, koska vedenjohtavuus aleni ratkaisevasti.

Juuristotukkeumien vuoksi vanhan suojakaistan pintakerrosten makrohuokosten ( $\varnothing > 300 \mu\text{m}$ ) tilavuudesta yli puolet oli juurien valtaamana, mikä näkyi suojakaistan heikkona veden imeytymisenä. Suojakaista imi vettä heikosti myös kuivana.

Mikäli rankkasade ajoittuu kuivalle, vettä hylkivälle maanpinnalle, pintavalunta voi olla todennäköinen, vaikka märempanä maa johtaisikin hyvin vettä. Maan veden-

hylkivyyden tulisi juuriston lisäksi huomioida pintavalunnan riskinarvioinnissa. Tulosten mukaan sekä kasvillisuuden peittämät maa-alueet että mullokselle tallatut juomapaikat karjan ulosteineen olivat kuivissa oloissa voimakkaasti vettä hylkiviä.

Tulokset antavat aihetta kehittää teknisiä ratkaisuja juomapaikkojen fosforin kulkeutumisen estämiseksi pintavirtailun mukana. Ruokintapaikkojen tapaan (Jansson ja Tuhkanen 2003) juomapaikoillekin voitaneen suositella ohuen pintakerroksen ajoittaista poistoa ja sonnan korjaamista pois vähintäänkin laidunkauden päättyessä. Tulokset nostavat esille myös suojakaistojen uudistamistarpeen. Tässä tutkimuksessa lähes 4 vuotta vanha savimaan laidun imi vettä 2,5 kertaa nopeammin kuin 11 vuotta vanha savimaan sammaloitunut suojakaista.

## Kiitokset

Osoitamme kiitoksemme Salaojituksen tukisäätiölle hankkeen rahoituksesta sekä MTT:n Maaperä- ja ympäristö -vastuualueelle infiltraatiomittauksiin lainatusta kalustosta (erityisesti Laura Alakukulle ja Taisto Sirenille) sekä Pohjois-Savon tutkimusasemalle kenttämittauspaikan järjestämisestä (erityisesti Kirsti Järvenrannalle ja Perttu Virkajärvelle). Jaana Uusi-Kämpää kiitämme Lintupajun suojakaistan järjestämisestä mittauskohteeksi. Kenttä- ja laboratoriomittauksista kiitämme Olga Nikolenkoa ja Leila Rättyä (Helsingin yliopisto) sekä Ari Seppästä (MTT). Kielin yliopistossa määrityksissä olivat mukana Rainer Horn, Satu Tammilehto ja Stefan Becker, joille esitämme parhaat kiitokset.

## Kirjallisuus

- Addiscott, T. M. & Dexter, A.R. 1994. Tillage and crop residue management effects on losses of chemicals from soils. *Soil Till. Res.* 30: 124–168.
- Alakukku, L., 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load. I short term effects. II, long term effects. *Soil Till. Res.* 7: 211–238.
- Aura, E. 1983. Soil compaction by the tractor in spring and its effect on soil porosity. *J. Scient. Agric. Soc. Finland*: 91–107.
- Dekker, L.W. & Ritsema, C. J. 1997. Effect of maize canopy and water repellency on moisture patterns in Dutch black plaggen soil. *Plant Soil* 195: 339–350
- Green, W.H. & Ampt, G.A., 1911. Studies on soil physics: I. Flow of air and water through soils. *J. Agric. Sci.* 4: 1–24.
- Hallett, P. D., Gordon, D. C & Bengough, A. G., 2003. Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer. *New Phytol.* 157: 597–603.
- Håkansson, I. Voorhees, W. B., Elonen, P., Raghavan, G.S.W., Lowery, B., Vanwijk, A.L.M., Rasmussen, K. & Riley, H. 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. *Soil Till. Res.* 10: 259–268.
- Hartge, K.H. & Horn, R., 1999. Einführung in die Bodenphysik. 3 painos. Enke Verlag. Stuttgart, 304 s.
- Horn, R. & Baumgartl, T., 1999. Dynamic properties in structured soils. A19–A46. Teoksessa: Sumners, M. et al. (Toim.) Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton.
- Jansson, H. & Tuhkanen, H-R. 2003. Laitumelta tulevan ravinnekuormituksen vähentäminen. Teoksessa: Uusi-Käppä, J., Yli-Halla, M. & Grék, K. (toim.). Lypsykarjataloudesta tulevan ympäristökuormituksen vähentäminen. *Maa- ja elintarviketalous* 25: 40–47.
- Klute, A. & Dirksen, C. 1986. Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods. *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods.* *Agronomy* 9: 687–734.
- Mulholland, B. & Fullen, M. A., 1991. Cattle trampling and soil compaction on loamy sands. *Soil Use Manage.* 4: 189–192.
- Richner, W. & Smucker, A. J. M. 1993. Preferential flow responses to root growth, death, and reoccupation of root-induced macropores. *Agronomy abstracts* 1993: 216
- Pietola, L. 1995.. Effect of soil compactness on the growth and quality of carrot. *Agric. Sci. Finland* 4: 137–236.

- Pietola, L. 1998. Tillage and root growth dynamics. Proceeding of NJF seminar no. 286 Soil tillage and biology, 8-10 June, Ås, Norway. NJF-utredning/rapport nr 124: 64–71.
- Uusi-Kämppä, J. & Kilpinen, M. 2000. Suojakaistat ravinnekuormituksen vähentäjänä. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 83. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 49 s. + 2 liitettä.
- Uusitalo, R. & Jansson, H. 2002. Dissolved reactive phosphorus in runoff assessed by soil extraction with an acetate buffer. *Agric. Food Sci. Finl.* 11: 343–353.
- Witter, J.V., Jungerius, P.D. & Harkel, M.J., 1991. Modeling water erosion and the impact of water repellency. *Catena* 18: 115–124.
- Yli-Halla, M., Seppänen, A. & Uusi-Kämppä, J. 1998. Karjan ruokintapaikoilta tuleva fosforikuormitus. Teoksessa: Kirsti Ahlfors (toim.). Kotieläintieteen päivät 1998. Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja 924: 311–313.

# Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet

- 1 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita salaojitustutkimuksesta (1987)
- 2 Salaojitustutkimusta koskevia aiheita (1987)
- 3 Salaojituskoetoinnasta Ruotsissa ja salaojaputken ympärysaineista (1987)
- 4 Salaojatutkimuksia vuosilta 1987–1988 (1988)
- 5 Kuivatusta ja kastelua koskevia tutkimuksia (1988)
- 6 Maan tiivistymisen tutkimisesta Ruotsissa ja salaojatutkimuksesta Suomessa (1989)
- 7 Salaojaseminaari Osuuspankkiopistolla 17.9.1988 (1988)
- 8 Salaojituksen tavoiteohjelma, näkymiä vuoteen 2010 saakka (1989)
- 9 Sievin salaojituspäivät 20.–21.9.1989 ja ajankohtaista asiaa ympärysaineista (1989)
- 10 Maaseudun ympäristöpäivät Laukaalla 21.3 ja Jokioisissa 26.3.1990 (1990)
- 11 Turve- ja kivennäismaiden vesitaloudesta sekä rautasaostuman muodostumisesta (1990)
- 12 Salaojituskäytännöitä maailmalta (1990)
- 13 Kenttätutkimusmenetelmistä paineenalaisilla salaojitusalueilla sekä Junkkarinjärven pengerrys (1991)
- 14 Myyräojituksesta (1991)
- 15 Zaitsevo-koekentän tuloksia (1992)
- 16 Säättösaloitus-koekenttien perustaminen (1992)
- 17 Turvemaiden salaojituksesta ja suoto-ojituksesta (1992)
- 18 Säättösaloitus-tutkimustuloksia vuosilta 1992–1993 (1993)
- 19 Agriculture sector reform in the Baltic republics (1995)
- 20 Maatalouden kehitysnäkymät Baltian maissa lähivuosina (1995)
- 21 Säättösaloituksen, uusinta- ja padotuskastelun tutkimustuloksia (1996)
- 22 Salaojitus ja pellon vesitalous – tavoitteita toimialan kehittämiseksi (1998)
- 23 Peltoviljelyn ravinnehuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säättämällä (1998)
- 24 Peltoviljelyn ravinnehuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säättämällä – vuoden 1998 väliraportti (2000)
- 25 Peltoviljelyn ravinnehuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säättämällä – loppuraportti (2000)
- 26 Haja-asutuksen jätevedet & Jaloittelutarhojen valumavedet – katsaus vuden 2003 tilanteeseen (2004)
- 27 Laiduntamisen ja suoja-ohjelmien vaikutukset pintamaan rakenteeseen ja vesitalouteen (2007)