

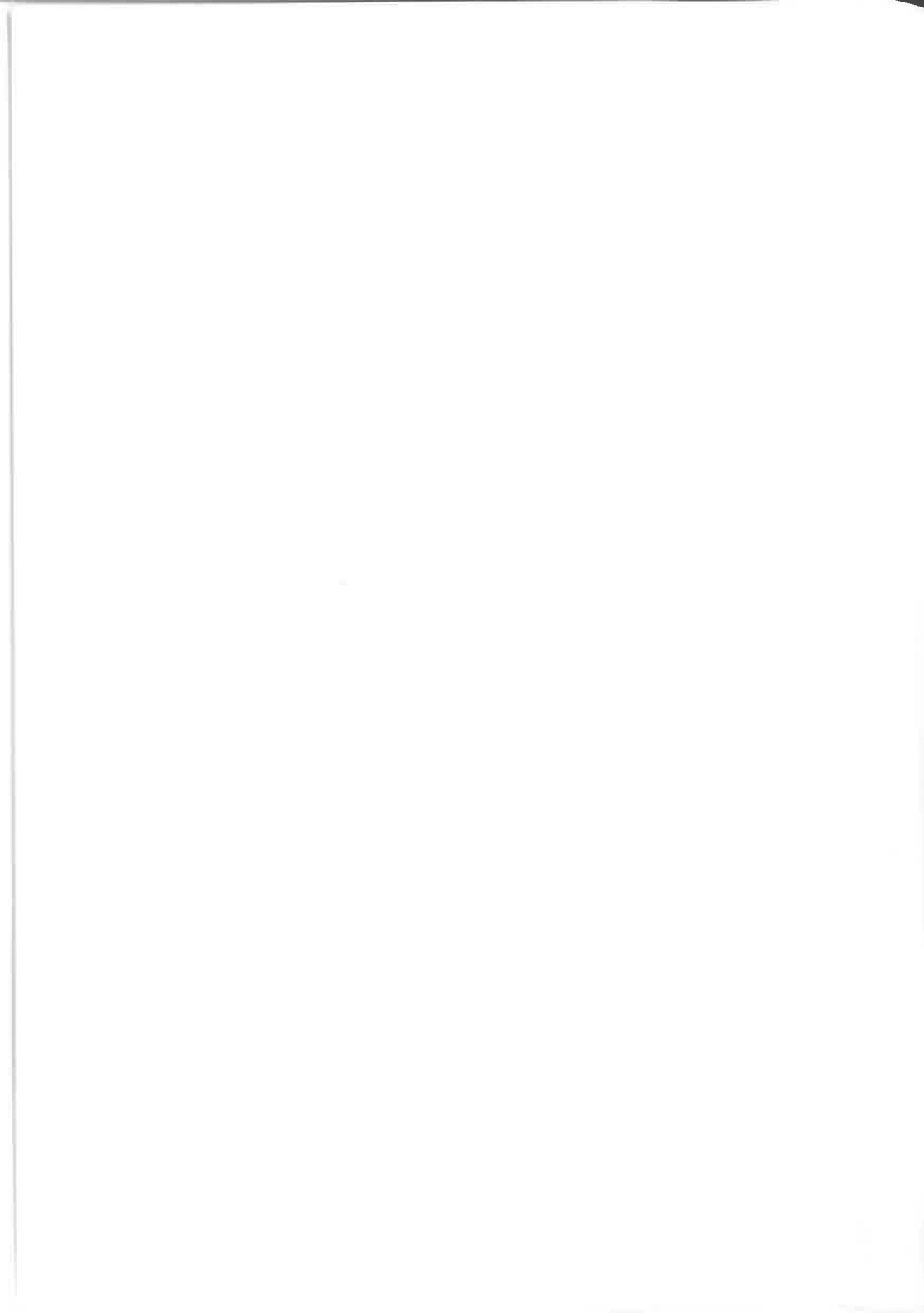
SALAOJITUKSEN TUTKIMUSYHDISTYS RY:N TIEDOTE

N:o 11



**TURVE- JA KIVENNÄISMAIDEN VESITALOUDESTA
sekä
RAUTASAOSTUMAN MUODOSTUMISESTA**

HELSINKI 1990



**TURVE- JA KIVENNÄISMAIDEN
VESITALOUESTA
SEKÄ
RAUTASAOSTUMAN
MUODOSTUMISESTA**

Tämän julkaisun on rahoittanut Salaojituksen Tukisäätiö

* * *

Julkaisija: Salaojituksen tutkimusyhdistys ry.
Toimitus: DI Esko Laikari (vastaava)
VTK Helkki Aarrevaara
ISSN 0783 - 392 X

Sisällysluettelo

<i>Suursarkakuivatus salaoituksen vaihtoehtona tai täydentäjänä Pohjois-Suomen olosuhteissa Rauno Peltomaa ja Jussi Saavalainen</i>	<i>5</i>
<i>Kuivatettujen savimaiden maaperä- ja vesitalous P.B. Leeds-Harrison ja N.J. Jarvis</i>	<i>16</i>
<i>Salaojen syvyyden vaikutus hiikkaisen maaperän kulvuuteen Augustine B. Rashid-Noah, Robert S. Broughton ja Bernhard von Hoyningen Huene</i>	<i>25</i>
<i>Kenttäkäyttöiset raudanmääritysmenetelmät salaojen rautatukkeutumisherkkyden arvioinnissa Jussi Hooli</i>	<i>37</i>
<i>Okran muodostumisen mahdollisuuksien määrittäminen alluviaalimailla Cade E. Carter, J.S. Rogers ja J.L. Fouss</i>	<i>44</i>

Suursarkakuivatus salaojituksen vaihtoehtona tai täydentäjänä Pohjois-Suomen olosuhteissa

MMK Rauno Peltomaa ja rakennusneuvos Jussi Saavalainen,
Salaojakeskus

Esipuhe

Pellon kuivatus on Suomen olosuhteissa tarpeen yli neljä viidesosalla pinta-alasta. Salaojitus on kuivatusmuotona ottanut oman ehdottoman paikkansa teknistyvän maatalouden myötä. Suomen pelloista on salaojissa noin puolet.

Aivan joka suhteessa salaojitustietämystä ei kuitenkaan ole onnistuttu pitämään ajan vaatimusten tasolla. Erityisesti Pohjois-Suomen turvemailta on tullut palautetta siitä, että salaojitus ei ole vastannut sille asetettuihin odotuksiin. Vaatimustason noustessa on ollut tarpeen lisätä turvemaiden salaojatiheyttä lähes savimaiden käytännön tasolle.

Ojatiheydestä johtuva salaojituskustannusten nousu alentaa investoinnin kannattavuutta erityisesti Lapissa. Pohjoismaisen yhteistyön myötä virinnyt ajatus uudenlaisen sarkamuodon - suursaran - käyttökelvopisuudesta on herättänyt viljelijöiden parissa kiinnostusta. Käytännön kokemusten kartoittamiseen ja asian kokoamiseen Maatilahallitus myösi 1989 tutkimusmäärärahan esitutkimuksen tekijät esittävät parhaat kiitokset Maatilahallitukselle. Samalla haluamme esittää lämpimät kiitokset valvojakunnalle arvokkaista ohjeista ja neuvoista työn tekemisessä.

1. Suursarka kuivatusmuotona

Suursarkamenetelmällä tarkoitetaan 30-50 metrin levyiseksi ja 2-5 %:n kuperuuteen muotoiltua sarkaa. Termi on vastine norjalaiselle "profilering" -termille. Suomessa termi on ensi kertaa ollut julkisessa käytössä marskuussa 1987.

Suursaran kuivatusteho perustuu ensisijai-

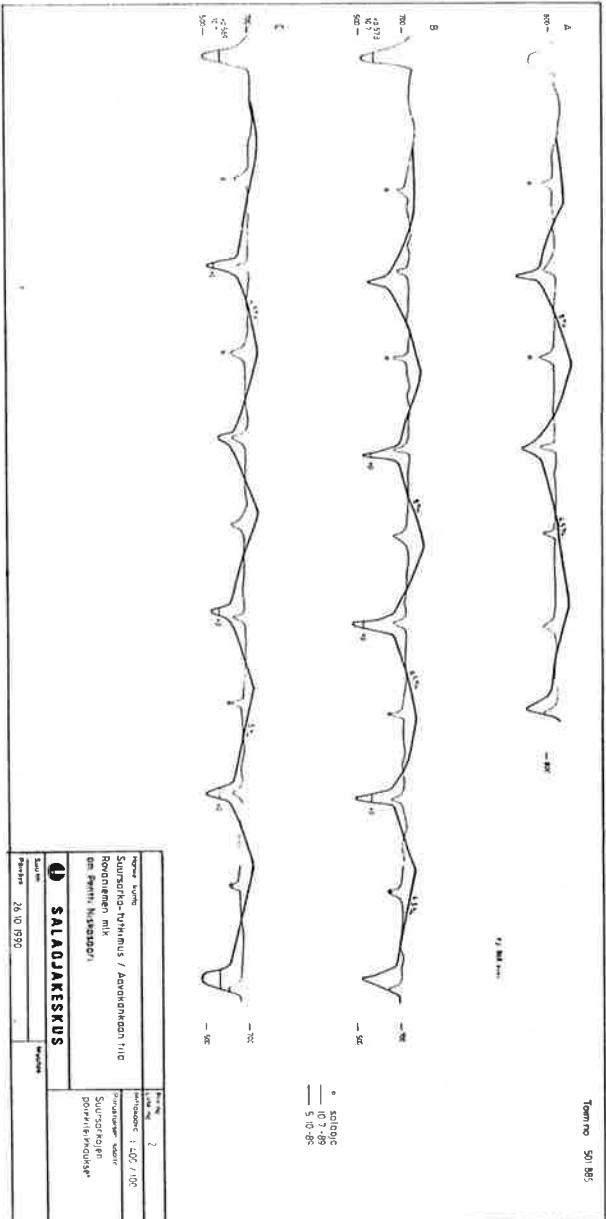
sesti tehokkaaseen pintavesien poisjohtamiseen. Maaperäolosuhteista riippuen pohjaveden pinnan korkeutta alennetaan joko riittävän syvillä avo-ojilla tai yhdistetyllä avo- ja salaojituksella. Suursaran tyyppi- ja kategoria on esitetty kuvassa 1. Suursarasta on olemassa myös järeämpi versio, norjalainen vastine "omgravning", jolla tarkoitetaan muotolun yhteydessä toteutettua kivennäismaa- ja turvekerrosten sekoitusta.

Suursarkakuivatus on perinteisen suomalaisen sarkaojituksen ja salaojituksen yhdistelmä, jonka ensisijainen käyttökohde ovat turvevaltaiset viljelmät.

2. Salaojituskuivatuksen vaihtoehtojen tarve

Salaojitustietämys on Suomessa perustunut aina 1980-luvulle saakka pääosin käytännön ojituksista saatuihin kokemuksiin ja kivennäismailla tehtyihin kenttäkokeisiin. Vielä 1950- ja -1960-luvuilla Etelä-Suomen turvemailta selvittiin hyvin yli 20 metrin ojaväleillä, kun savimailloilla käytettiin 16-18 metrin ojavälejä. Ongelmia alkoi esiintyä 1970-luvulla. Niiden syyksi arveltiin muun muassa viljelytekniikan muuttumista, viljelykierron yksipuolistumista ja ojitustekniikan muuttumista. Vanhat turvemaiden ojitukset oli tehty pääosin puu- tai lautaputkilla. Nykyinen salaojituskäytäntö on, että ojaväli on turvemailloilla samaa luokkaa kuin savimailloilla, eli 10-15 m.

Salaojitettujen turvemaiden vajaatoimivuus painottui erityisesti Keski- ja Pohjois-Suomeen. Näillä alueilla salaojitetusta alasta turvemaiden osuus on ollut suhteellisesti suurempi kuin etelämpänä. Ongelmien syntyy on epäilty vaikuttavan turvemaiden osuuden lisäksi myös kasvukauden piteuden ja voimaperäisen tuorerehun tuotannon.



Kuva 1. Norjalaismalliset suursarat, joista ylempi on käynnönsä yleisin. Siinä sarkamuoto tehdään avo-ojien kavuunsaaroista ja avo-ojien reunasta keskisaralle maata siirtämällä. Syväkääntö-suursarka tehdään kääntämällä pinta- ja pohjamaa reunoille päin kapenevin kavu-uurin.

Pohjois-Suomen osalta salaojien toimivuutta kartoitettiin Lapin Maatalouskeskuksen toimesta 1984 ja sittemmin Pohjois-Kalottiyhteistyön voimin 1987. Yleiskartoituksen perusteella Lapin läänissä viidennes kyselyyn vastanneista ilmoitti salaojituksessa olevan häiriöitä. Ongelma-alueilla 1987 tehdyn tutkimuksen yhteydessä todettiin viljelijöiden varsin epäilevä suhtautuminen salaojien toimintamahdollisuuksiin turvemilla. Tutkimusajankohtaa edelsi poikkeuksellinen routatalvi -87, jonka johdosta tutkimuskohteet kuivuivat poikkeuksellisen myöhään keväällä.

On arvioitu, että Lapin läänin pelloista on turvemalta lähes puolet ja maatalojen päätuotantosuunta on lypsykarjatalous. Viljelytekniikasta ja kasvukauden lyhyydestä johtuen nurmien osuus peltojen käytöstä on suuri. Tilan talouden kannalta on oleellista, että nurmet talvehtivat hyvin. Jääpoltetapit ovat näissä oloissa varsin todennäköisiä, ellei pellon kuivatus - varsinkin pintavesikuivatus - toimi kriittisinä aikoina hyvin. Toisaalta raskaat tuorehukuormat vaativat korjuuajana pelolta hyvän kantavuuden. Pohjois-Kalotilla tehdyn selvityksen mukaan perinteinen salaojitus ei ole vastannut riittävän hyvin niitä vaatimuksia, joita kuivatukselle kyseisissä oloissa asetetaan. Kuivatuksen tehostaminen salaojituksella edellyttäisi näissä oloissa salaojaitheyden lisäämistä ja salaojakaivannon täyttöä vettä hyvin läpäisevällä materiaalilla, kuten esimerkiksi hakkeella. Molemmat toimenpiteet lisäävät salaojituskustannuksia merkittävästi ja alentavat investoinnin kannattavuutta. Taloudellisen ja toimintavarmen kuivatuksen kehittämiseksi Pohjois-Suomen turvemalta varten tarvitaan uutta ajattelua perinteisen salaojituskuivatuksen rinnalle.

3. Koetointi Pohjoismaissa

Salaojituksen koetointi nimenomaan pohjoisissa olosuhteissa on ollut varsin vähäistä. Viimeisten kymmenen vuoden aikana se on ollut vilkkainta Norjassa. Siellä käytännön ojituksissa oli siirrytty Ruotsia ja Suomea alemmin tiheään salaojitukseen käyttäen 5-8 metrin ojaväliä. Norjassa 1980-luvun alkupuolella käynnistetyt pinnanmuotoilu- ja

syväkääntökokeet johtivat tuloksiin, joiden perusteella käytännön ojituksilla on siirrytty 1980-luvun lopulla lähes yksinomaan suursarkakuivatukseen. Ruotsissa saatiin samoihin aikoihin lupaavia tuloksia perinteistä salaojitusta täydentävillä toimenpiteillä, kuten myyräojilla ja suoto-ojilla.

Yhteispohjoismaisen projektin puitteissa käynnistyi vuonna 1988 tutkimus, jolla pyritään nimenomaan Kalottialueella selvittämään suursaran merkitystä täydennysojitusmuotona. Samoihin aikoihin myös Maatalouden tutkimuskeskus on aloittanut koekenttien rakentamisen Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin tutkimusasemille. Samanaikaisesti tutkimustoiminnan kanssa käytännön viljelijät ovat jossain määrin ottaneet käyttöön eri versioita suursarkakuivatuksen periaatteesta.

4. Tutkimusprojekti

4.1 Tavoite

Tutkimuksen tavoiteasettelussa lähdettiin esitutkimuksen luonteesta ensisijaisena tarkoituksena saada käytännön tietämystä suursarasta Pohjois-Suomen olosuhteissa. Norjalaisiin olosuhteisiin kehitetty malli on toiminnut siellä kuivatuksellisesti hyvin. Toisaalta sikäläiset sademäärät ovat paikoitellen merkittävästi Suomen sademääriä suurempia. Suursaran rakentamiseen ei Norjassa ole koneiden osalta samanlaisia vaihtoehtoja kuin Suomessa, jossa turvetuotantoon kehitetyillä koneilla arvioitiin olevan käyttöä suursarkojen teossa. Saatavan kokemusperäisen tiedon perusteella tavoitteena on laatia käytännön viljelijää varten ohjeita suursaran rakentamisesta.

4.2 Tutkimuksen toteutustapa

Tutkimus jakautui kahteen osaan siten, että projektin puitteissa suunniteltiin käytännön toteutusta varten suursarkakuivatus ja seurattiin sen rakentamista. Kohteena oli Aavakan kaan tila Rovaniemen ja Posion rajalla Auttilsa. Tilan omistaa Pentti Niskasaari Rovaniemen maalaiskunnasta. Kohteen pinta-ala on 5,90 ha.

Toinen osa koostui tilakäynteistä kohteella, joissa tiedettiin toteutetun suursarkakuivatus jossain muodossa. Tilakäyntejä tehtiin yhteensä 9 kpl ja niissä pyrittiin selvittämään haastatteluin suursarkojen rakentamiskustannuksia, toteutustapaa ja käyttökokemuksia. Sarkojen kuperuus määritettiin vaaitsemalla sarkojen poikkileikkauksia.

4.3 Aavakankaan tilan suursarat

4.3.1 Suursarkojen rakentaminen

Kohteen valinta tapahtui tilan omaan aktiivisuuteen perustuen. Hanke suunniteltiin syksyn 1987 maastotutkimuksen perusteella kesällä 1988 (kuva 2). Sarkojen leveydeksi valittiin kahden vanhan saran yhdistämisestä muodostuva 32 metrin levyinen sarka, jonka keskelle sijoitettiin saransuuntainen lautaputkialaoja. Sarkojen muotoilu tehtiin pääosin syksyllä -89 tilan omana työnä. Tilalla oli tätä tarkoitusta varten tela-alustainen kaivinkone, jota käytti tilan isäntä.

ruus vaihteli 4.5-8 % (Kuva 1). Suunnitelman tavoitteena oli 5 %:n kuperuus. Sarkojen pinta-alat vaihtelivat 0,6-1,2 hehtaariin.

4.3.2 Työmenekki ja kustannukset

Työ toteutettiin siten, että tilan omistaja teki itse lähes kaikki työt. Avo-ojien kaivu ja sarkojen muotoilu tapahtui samalla kaivinkoneella. Avo-ojien kalvumassat siirrettiin ojien kaivun jäljiltä kauhalla keskisaralle, samalla avo-ojien reunasta luiskattiin myös maata keskisaralle päin. Saran pinta tasattiin ensin kaivinkoneella ja lopullinen taseus tehtiin traktorin perälavalla ja jyrsimellä. Viimeistelyvaiheen työmenekkiä ei seurattu kovin tarkoin, sen sijaan kaivinkoneen työtunnit kirjattiin työvalheittain.

Kaivinkoneen työvaihe	Käyttötunnit	Ojаметrit/maamassat
Salaojien kaivu	70	1460 m
Avo-ojien kalvu	36	1170 m
Sarkojen muotoilu	130	12000 m ³

Turpeen vahvuus kasvaa alueen yläosan 0,5 metristä alueen alaosaan yli 2 metrin vahvuuteen. Turpeen alla oleva kivennäismaa on hiesuista hietaa. Avo-ojien kaivun ja muotoilun jälkeen välittömästi mitatut sarkojen poikkileikkaukset osoittivat, että sarkojen kupe-

Palkallinen taksa rakentamisaikaan vastaavalle kaivinkoneelle oli 190 mk/tunti. Salaojatarvikkeiden ja apu työvoiman kulut arvioitiin vastaavasti paikallisilla hinnoilla. Näillä laskentaperusteilla saatiin eri kustannuserät ja yksikkökustannukset seuraaviksi:

	Yksikkökustannus		
Salaojien kaivu kaivinkoneella	13 300:-		
Lautasalaojaputkien teko ja asennus	11 200:-		
Salaojitus yht.	24 500:-	16.80 mk/m	4 200 mk/ha
Avo-ojien kaivu	6 800:-	5.80 mk/m	
Sarkojen muotoilu kaivinkoneella	24 700:-	1.65 mk/m ³	4 200 mk/ha
Välittömät rakenta- miskulut yhteensä	56 000:-		9 500 mk/ha

Käytännössä tilan suoranaiset rahamenot jäivät edellä mainittuja summia pienemmäksi, jos kaivinkoneen pääomakuluja ei oteta huomioon. Tämän tyyppisellä järjestelyllä suurin kustannuserä muodostuu tilan omasta työpanoksesta.

Kun välittömiin rakentamiskuluihin lisätään arvio sarkojen viimeistelytyöiden kustannuksista ja tutkimusprojektin vuoski tilalta laskuttamatta jätetyt suunnittelu- ja työnohtokulut, saadaan kokonaiskustannukset, joita on alla verrattu tehtyyn kustannusarvioon ja siihen vaihtoehtoon, että alueella olisi toteutettu perinteinen salaojitus.

Voidaan todeta, että hankkeen laskennalliset kustannukset alittivat kustannusarvion 15 prosentilla ja ylittivät perinteisen salaojituksen kustannusarvion 10 prosentilla. Aavakan tilan suursarkojen kustannusarvio oli tiettävästi ensimmäinen laatuaan. Perinteisen salaojituksen ja suursaran kustannusten rakenteessa on se ero, että suursarolssa on työn osuus suuri ja tarvikekustannus pieni. Tämä antaa mahdollisuuden nostaa tilan oman työn osuutta kokonaiskustannuksista.

	Yht.	Yksikkö- kustannus
Välittömät rakentamiskustannukset	56 000:-	9 500 mk/ha
Sarkojen viimeistely	6 000:-	1 000 mk/ha
Yleiskulut	5 000:-	850 mk/ha
Suursarat yht.	67 000:-	11 350 mk/ha
Kustannusarvio yht.	79 000:-	13 500 mk/ha
Perinteisen salaojituksen kustannusarvio	60 000:-	10 200 mk/ha

4.4 Omatolmisesti toteutettujen suursarkakohteiden tiedot

4.4.1 Tietojen keruu

Tiedossa olleiden muotoiltujen peltokuvioiden osalta tehtiin tilakäynnit kesällä 1990, joiden yhteydessä haastateltiin tilan edustajia käyttökokemuksista ja rakentamiseen liittyvistä asioista. Lohkojen pinnan muoto vaaittiin poikkileikkausprofiilla ja saran kuperuuden määrittelyä varten. Näitä toimenpiteitä kutsutaan tässä raportissa pinnan muotoiluksi, erotuksena perinpohjaisemmasta suursarka-rakenteesta.

4.4.2 Sarkojen muotoiluun työtekniikka

Pinnan muotoilu oli tiloilla toteutettu pääosin tilojen omalla kalustolla ja työvoimalla. Tällöin yleisin työtapa oli traktori ja perälevy-yhdistelmä. Tasausruuvia, joko turveurakoitsijan tai maataloustraktorilla käytettävää ruuvia, oli käytetty viidessä kohteessa. Myönteisiä kokemuksia työn tehokkuudesta oli niillä tiloilla, joilla oli käytetty turveurakoitsijan kalustoa. Tällöin jälkitasauksen tarve jäi vähäiseksi. Yhdellä tilalla oli käytetty hyväksi lumilinkoa, jolla muotoilu oli onnistunut keväällä roudan päällä työskennellessä. Muotoilu tehtiin useassa osassa sitä mukaa, kun routa suli keväällä. Niillä tiloilla, joilla muotoilua oli tehty jo pidempään, oli todettu, että saran keskiosan painuman vuoksi muotoilua tuli jatkaa nurmen uusimisen yhteydessä. Saran keskikohdan painuminen ensivaiheessa selittyy siirrettävien maamassojen löyhällä rakenteella, joka tiivistyessään painuu.

4.4.3 Kustannus selvitys

Pinnan muotoilusta aiheutuneita kustannuksia ei voitu tarkkaan selvittää, koska oman työn osuus oli suuri ja sen työn aikainen seuranta vähäistä. Kustannustiedot perustuivat tilojen omaan arvioon ja ulkopuolisille maksettujen korvausten osalta rakentamiskäytökseen hintatasoon. Ulkopuolisen urakoitsijan kulut olivat vaihdelleet 500-1600 mk/ha ja tilojen omat arviot kokonaiskustannuksista vaihtelivat 1000-3000 mk/ha. Rakentamis-

vuoden keskimääräiseen salaojituskustannukseen verrattuna pinnanmuotoiluun kustannus oli ollut 20-40 % salaojituksen kustannuksista. Näillä kustannuksilla oli saavutettu 25-50 metrin sarkaleveyksiä, joiden kuperuus vaihteli pääosin 2-3 %. Sarat oli osittain tehty ennestään salaojitettulle alueelle.

4.4.4 Käyttäjien kokemuksia

Kohteissa oli sekä niitä, joissa suursarka oli alunperin ainut kuivatusmuoto, että niitä joissa olemassa olevaa salaojitusta täydennettiin sarkamuotollulla. Suurimmassa osassa kokemukset perustuivat vasta vain 2-3 vuoden viljelykäyttöön. Kuivatuksen kanssa ei järjestelyjen jälkeen ollut ollut vaikeuksia. Sarkamuotoa pidettiin nurmien talvehtimisen kannalta edullisena. 30 metrin sarkaleveyttä pidettiin riittävänä, mutta tuorehuhon korjuussa siitä alkoi jo olla haittaakin. Saran kuperuuden ylläpitoa ja sen lisäystä viljelyn yhteydessä pidettiin tarpeellisena.

5. Tulosten tarkastelu

Suursarkakuivatus on herättänyt viime vuonna viljelijöiden kiinnostusta varsinkin Pohjois-Suomen turvemaiden viljelyssä. Menetelmää on eri muodoissa jo käytännössäkin toteutettu sekä salaojitetun kuvion täydentäjänä että salaojituksen korvaajana. Lähinnä Norjassa tehtyjen tutkimusten perusteella tehdyt suositukset ovat osoittautuneet kuivatuksen kannalta riittävän tehokkaiksi. Käytännön toimenpiteenä suursaran rakentaminen kaipaa kuitenkin ohjeiden ja neuvojen tarkentamista.

Tämän tutkimuksen selvitysten valossa voidaan eritellä eräitä kriittisiä kohtia, joihin tulee kiinnittää erityistä huomiota suursarkahanketta suunniteltaessa. Ensinnäkin maaperäolosuhteet tulee tutkia etukäteen riittävän tarkasti. Pohjois-Suomen peltojen turvevahvuus on usein pienempi kuin salaojitusvyvyys. Tehtäessä sarkojen väliin syvät avo-ojat niistä tuleva kivennäismaa voi toimia myös maanparannusaineena, jos sen koostumus on siihen soveltuva. Aina ei ole kuitenkaan niin, että pintamaan ja pohjamaan sekoitus parantaa maan vedenläpäisyominaisuutta.

Tila/ om	Kunta	Muotoi- tu ala ha	Sarka- lev. m	Kupe- ruus %	Saran pinta- ala ha	Ikä v	Turve- vahv. m	Muotoilun työ- tekniikka
3	Suomaa Alpo Kantoniemi	10	34-52	2-3.5	0.8-2.5	1-10	0.7-2.0	Ruuvaus/ lumifinko
4	Kuokka Pekka Kauppila	5	26	2-4.5	0.8	10	0.9-2.0	Perälevy/ oma työ
7	Harju Martti Niskala	2	30	2.5-3.0	0.6	16	0.7-1.0	Perälevy/ oma työ
1	Laitala Juhani Naasko	8	32-48	2.5-4.5	0.8-1.2	4-5	0.3-0.9	Ruuvi/ Perälevy
2	Toivola Vel. Koivisto	6	40-50	2-4	0.6	2-3	0.3-0.6	Turveruuvi/ Perälevy
8	Laitala Penntti Laitala	7.5	30	3-5	1	1	yli 1.5	Turveruuvi/ Lana
5	Repola Aatu Lehtola	3	48	ei mitattu	0.9	5	0.6-1.1	Perälevy
9	Metsämaa Väinö ja Pekka Tohola	75	42	1-4	1.4	2-5	yli 1.5	Perälevy/ Ruuvi
6	Ojaaskamo Timo Pulkkanen	5	60-70	0.5-1.5	1.7-1.8	1	0.5-	Perälevy

Avo-ojien aukipysyminen saattaa osoittautua hyvinkin epävarmaksi, jos avo-ojan pohja tulee herkästi liettyvään kivennäismaahan.

Turvevahuuden kasvaessa lisääntyy myös painuman suuruus. Arvioiden mukaan kupeisuus puolittuu vilden vuoden aikana lähtötillanteesta. Tähän on mahdollisuus varautua jo suursarkaa tehtäessä lisäämällä ylimäärin kuperuutta. Tällöin tosin joudutaan helposti niin suurin kaltevuuksiin alkuvaiheessa, että se haittaa peltotöitä ja lisää tiivistymisriskiä, kun koneen ja kuorman paino kohdistuu kaltevalla pinnalla vain toiseen pyörään. Tästä syystä on suositeltavaa, että kuperuutta ei tehdä yli kuivatustarpeen, vaan painunmaa kompensoidaan pitämällä kuperuutta yllä viljelyn aikana.

Suursarkojen hyödyntämisen kannalta päisteiden viljeltävyys ja kuivatuksen toimivuus on keskeinen asia. Avo-oihin tarvitaan 8-10 metriä pitkät rummut ja päisteen pinnanmuotoilun tulee myös olla riittävä.

Suursarkamenetelmän eri vaihtoehtoja tarkasteltaessa on usein keskusteltu siitä, mikä on tällöin salaojien tarve, ja jos salaojat laitetaan, onko tuolloin tarvetta tehdä lainkaan avo-ojia, vaan niiden sijaan vesivako. Salaojien tarve riippuu turvekerroksen vahvuudesta, sarkaleveydestä ja pohjamaan vedenjohtokyvystä. Jos avo-oja ylittää hyvin vettä johtavaan kivennäismaahan, salaojia ei tarvita, vaikka sarkaleveys kasvaa yli 30 metrin. Pohjois-Kalottiyhteistyön puitteissa rakennetut suursarat, kupeisuus 2 %, ovat 40 metriä leveitä ja niitä täydentävät vanhat 20 metrin välein olevat salaojat. Tulokset ovat tähän mennessä lupaavia. Avo-ojan korvaaminen vesivaolla painanteen pohjassa tulee kysymykseen, jos alue on perussalaojitettu, ja jos salaojan pituussuunnassa on luontaista kaltevuutta. Veden pääsy piiriojaan tulee päisteessä erikseen varmistaa.

Suursaran ja perinteisen salaojituksen erot pellon kuivatuksessa ja viljelyssä voidaan saatujen kokemusten valossa tiivistää seuraavasti:

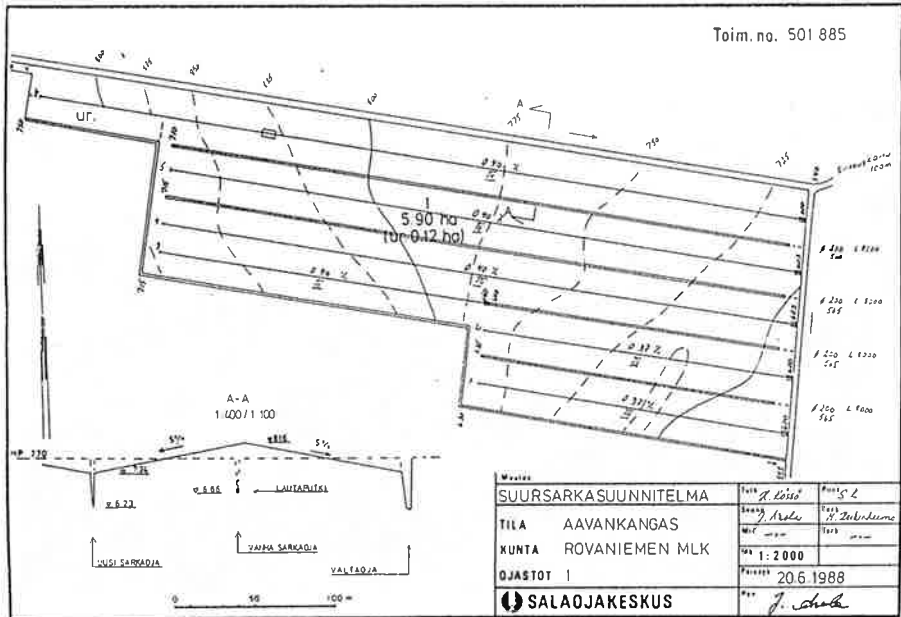
POHJOIS-SUOMEN TURVEMAAT

	Suursarka	Perinteinen salaojitus
EDUT	Tehokas pintavesikulvatus	Viljelyä haittaavat avo-ojat poissa
	Pienet nurmien jääpolteauriot	Riittävä kulvavara
		Ympäristöystävällisyys
HAITAT	Avo-ojat viljelyn haittana	Jääpolteriski, jos pinnanmuotoilua ei tehdä
	Pinta-alahävikki avo-oihin n. 10 %	



Aavakankaan tilan suursarat kesällä 1990. Alemmassa kuvassa tyypillinen tilanne avo-ojan luiskien sortumisesta herkästi liettyvässä pohjamaassa.





Kuva 2. Kesällä 1988 laadittu suunnitelma.

Rakentamiskustannusten osalta saadut kokemukset osoittavat, että pelkän muotoilun kustannus on 20-50 % normaalista salaojitus-kustannuksesta. Silloin kun tavoitteena on alkuperäinen norjalaistyyppinen suursarka, kustannusarvio nousee lähes saloituskustannuksen suuruiseksi. Aavakankaan tilalla rakentaminen toteutettiin kaivinkoneella, mikä on koneketjun osalta yksinkertaisinta. Tilakohtaisesti on käytetty myös turvetuotantoon kehitettyjä ruuveja, joista sittemmin on tehty myös maatalouskäyttöön tarkoitettuja pienempiä ruuvityyppejä. Isojen ruuvien etuna on suuri työteho ja tasainen työn jälki, haittana se, että sitä ei mielellään ajeta kivennäismaata sisältävällä alueella. Pohjois-Kalottiprojektin puitteissa käytettiin myös katopilarityöskentelyä, jonka soveltuvuus näytti olevan kiinni siitä, miten kaivumaat ja avo-ojan luiskaus on etukäteen toteutettu. Kustannustaso eri menetelmillä riippuu oleellisesti pai-

kallista olosuhteista kuten urakoitsijoiden konekannasta, työmaan koosta, työskentelyolosuhteista jne.

Viljelijöiden asenne tämäntyyppistä kuivatusjärjestelyä kohtaan on myönteinen alueilla, joilla salaojien toimivuus ei ole vastannut sille asetettuja odotuksia. Menetelmä on käyttökelpoinen sekä salaojitusten täydennystoimenpiteenä että salaojittamattomien peltöjen kuivatusjärjestelmänä joko yhdessä tai ilman salaojia olosuhteista riippuen. Järjestelmällinen koetoiminta on jo käynnistynyt Pohjois-Suomen tutkimusasemilla ja niiltä on odotettavissa tutkimustuloksia lähivuosina. Sitä ennen voidaan tämänhetkisen tietämyksen perusteella suositella suursarkamenetelmää käytännön toimenpiteenä ja kouluttaa suunnittelijoita, neuvoja ja alan urakoitsijoita menetelmän saattamiseksi yleiseen tietoisuuteen.

Viljelijöiden kannalta oleellista on myös se, miten julkinen rahoitus suhtautuu siihen. Ennen muuta kyseeseen tulee salaojitusavustuksen suhde perinteiseen salaojitukseen ja suursarkakulvatukseen. Työn laadun ylläpito on suursarkojen rakentamisessa yhtä oleellinen lopputuloksen kannalta kuin maisakin kuivatushankkeissa.

Tämän esitutkimuksen perusteella jatkotutkimusta tarvitaan Suomen oloissa ensisijaisesti siitä, missä tilanteissa tarvitaan salaojia täydentämään suursarkaa. Aavakankaan hankkeen osalta tästä saadaan jatkossa lisää kokemusperäistä tietoa. Painumien arvioimiseksi olisi tarpeen jatkaa seurantaä esimerkiksi tämän tutkimuksen nuorimmilla suursaroilla. Suursaran leveyden merkitystä ja pästerumpujen vaikutusta esimerkiksi tuorerahun tuotannossa tulisi teoreettisin laskelmin arvioida. Suursarkojen kuivatuksellista toimivuudesta sen sijaan saadaan lähivuosi-na tutkimustietoa MTTK:n koekentiltä.

Yhteenveto

Suursarkatutkimuksella pyrittiin selvittämään konkreettisen kohteen puitteissa norjalaismallisen suursaran rakentamiseen liittyviä käytännön järjestelytarpeita ja kustannuksia. Toisaalta kartoitettiin viljelijöiden aiemmin tekemien suursarkojen muotoa ja käyttökokemuksia.

Aavakankaan tilalle rakennetut suursarat ovat leveydeltään 32 m ja kuperuudeltaan 4-8 %. Yhden saran pinta-alat vaihtelevat 0.6-1.2 ha. Sarkoja on täydennetty yhdellä saran keskeillä kulkevalla saran suunnaisella salaojalla. Hanke toteutettiin kokonaan tilan omalla kalustolla. Rakentamiskustannukset laskettiin tehtyjen tuntimäärien perusteella paikkakunnan hintatasoa käyttäen. Hehtaarikustannuksiksi muodostuivat pelkkien rakentamiskulujen osalta:

Salaojat	4200 mk/ha (250 m/ha)
Avo-ojien kaivu	1150 "
Sarkojen muotoilu	4200 " (2000 m ³ /ha)
Yhteensä	9500 "

Kustannuksista puuttuvat sarkojen viimeistelyt ja yleiskulut.

Viljelijöiden omatoimisesti rakentamat suursarat olivat leveydeltään 25-50 m, kuperuudeltaan pääosin 2-3 % ja lältään 1-16 vuotta. Sarkojen toimivuus viljelyn kannalta oli kokemusten mukaan hyvä. Sarkojen muotoilukustannus on ollut 20-40 % perinteisen salaojituksen kustannuksista. Rakentamiseen on käytetty sekä turveruuveja että traktorin perälevyjä.

Suursarkojen rakentamiseen liittyvät tärkeät ennakkoselvittelyjen kohteet ovat turvekerroksen vahvuus ja laatu, pohjamaan laatu, kaltevuussuhteet sekä tilan tuotantosuurta. Rakentamiseen liittyvät oleelliset seikat ovat muotoilu ja pellon pinnan tasauksen hyvä työn laatu, painumien tasaus viljelyn yhteydessä ja päisteiden rummut sekä maan pinnan muotoilun korostuminen.

Kirjallisuutta

1. Brekke O. 1988 Projekt PROFILERING. LTI Rapport nr. 1 1988
2. Calvin L.F. Reclamation and drainage of peatland. Farm and Food Research
3. Kasurinen O. & Peltomaa R. 1988. Kalottialueen salaojituksen yleispiirteitä. Salaojituksen tutkimusyhdistyksen tiedote 4/1988
4. Lindberg K. 1989 Profilering av myrjord. LTI Rapport nr. 10
5. Peltomaa R. & Kasurinen O. 1987 Practical experiences of peat land drainage in North-Calotte. Proc. 3rd Int. Workshop on Land Drainage 1987
6. Peltomaa R. 1988 Pohjoiskalotti käynnisti salaojatus tutkimuksen. Käytännön Maamies 1/1988
7. Peltomaa R. 1990 Suursarkakuivatus - uusi menetelmä turvemaille. Koneviesti 13/1990
8. Rehn J.E. 1988 Slitsdränering. Inst. f. markvetenskap Avd. 88 3/1988
9. Saavalainen J. 1987 Suursarat ratkaisu turvemaan kuivatukseen. Maaseudun tulevaisuus 26.11.1987

Kuivatettujen savimaiden maaperä- ja vesitalous

Tutkija P.B. Leeds-Harrison,

Silsoe College, Cranfield Institute of Technology, Iso-Britannia

Dosentti, N.J. Jarvis,

Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Ruotsi

Veden liikkuminen savimaalajeissa

Veden liikkumista savimaalajeissa hallitsevat usein suuret huokokset. Useissa maissa erilaisissa ilmastoissa ja maaperätaloustilanteissa suoritettu tutkimus on osoittanut, että vaikka suuret huokokset (makrohuokokset) saattavatkin aiheuttaa merkittävän osan kuivatusvirtauksesta, on niiden osuus maaperän huokosten kokonaismäärästä pieni (Bouma ym., 1977; Germann ja Bevan, 1981; Kneal ja White, 1984). Leeds-Harrison ym. (1982) ovat osoittaneet, että kuivatusreaktioihin vaikuttavat suuresti salaajan rakentamisen aikana salaajakoneen aiheuttama maan häiriytyminen ja halkeamien laatu. Tässä tutkimuksessa myyräojat, joiden viereen ja yläpuolelle oli muokkauksen avulla saatu aikaan yhden-suuntaisia halkeamia, reagoivat paljon nopeammin tiettyyn sadantatapahtumaan kuin salaajat, joiden yhteydessä ei ollut vastaavaa halkeilua.

Mahdollisuudet muuttaa pellonmuokkauksen avulla maan rakenteellisten yksiköiden tiivytystä sekä erityisesti suurten huokosten osuutta maaperässä on arvioitava sekä simuloitaessa että kuivatuksen suunnittelun yhteydessä. Muokkaaminen lisää tavallisesti halkeilua muokkaussyvyyden yläpuolella mutta aiheuttaa vain hyvin vähän maan häiriytymistä muokkaussyvyyden alapuolella. Näissä olosuhteissa saattaa salaajiin suuntautuvaa virtausta rajoittaa muokatun kerroksen ja salaajan välissä olevan kerroksen pieni makrohuokosten määrä.

Jäykissä savimaalajeissa turpoaminen ja kutistuminen kastumisen ja kuivumisen aikana, routaantumisen vaikutukset sekä maan tiivistyminen traktorin pyörän alla vaikuttavat

makrohuokosten ulottuvuuksissa, jatkuvuudessa ja koossa tapahtuviin muutoksiin. Tämän lisäksi salaajituksen/kuivatuksen suunnittelun tekee monimutkaiseksi se, että kaikki luonnollisesti tapahtuvat tai työvälainein aikaan saatavat muutokset maaperäfyysikaalisissa ominaisuuksissa vaihtelevat eri aikoina. Tässä esitelmässä käsitellään muokkaamisen ja maan häiriyttämisen vaikutuksia jäykkien savimaalajien kuivatusreaktioihin.

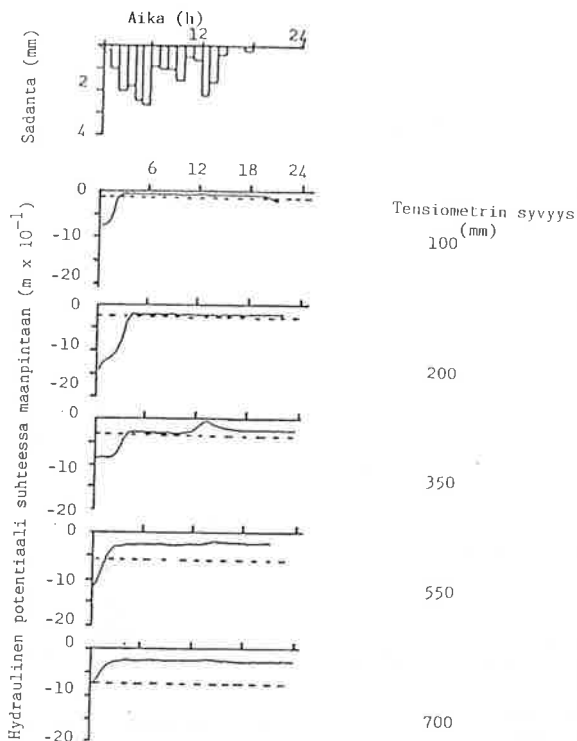
Veden virtaaminen halkeamissa ja raoissa

Huokosissa ja halkeamissa tapahtuvaa laminaarista virtausta hallitseva perusyhtälö on Hagan-Poiseuillen yhtälö. Halkeamia varten on Childs (1969) esittänyt yhtälön muodossa:

$$Q = g \times p \times (D^3/12\mu) \times \text{grad } \phi$$

missä Q on virtausnopeus syvyyksikköä kohti halkeamassa, jonka leveys on D hydraulisen gradientin grad ϕ vallitessa, g on maan vetovoiman kiihtyvyyden, μ on viskositeettitekijä ja p on virtaavan nesteiden tiheys. Tämän yhtälön tarkasteleminen osoittaa, että suuremmilla huokosilla on hallitseva rooli veden siirtymisessä maaperässä.

Hyvin rakentuneissa savimaalajeissa nopeasti reagoivilla transduktoritensiometreillä suoritettujen maavesipotentialiaa koskevat mittaukset osoittavat, että vesi liikkuu hyvin nopeasti alaspäin maaperässä. Kuviossa 1 esitetään tensiometrireaktiot viidellä syvyydellä maassa sadannan alkamisen jälkeen. 100 mm syvyydellä mitatut potentiaalit nousevat nopeasti, ja näiden sekä 700 mm syvyydellä tapahtuvien arvojen nousujen välillä on vain pieni viive. Tällä on yhteyttä halkeamien



Kuvio 1 Hydraulisen potentiaalin vaihtelu viidellä syvyydellä savimaalajissa sadannan jälkeen. (Pisteviiva osoittaa matrikpotentiaalin nolla-arvon).

kautta tapahtuvaan infiltraatioon. Lähellä maanpintaa tensiometri havaitsee veden liikkeen maaveden painekorkeuden nousussa ilmakehän painearvon tasolle, mikä osoittaa, että halkeaman pinta on kostunut mutta halkeama ei ole täytynyt vedellä. 700 mm syvyydellä vesi alkaa kerääntyä halkeamiin kyllästyen ne ja nostamalla maaveden paineen ilmakehän painetta korkeemmaksi. Tämä ilmiö tapahtuu myös 350 mm syvyydellä, mutta halkeamisen kyllästyminen ajankohta on kuutta tai kahdeksaa tuntia myöhäisempi kuin alempana sijaitsevien halkeamien kyl-

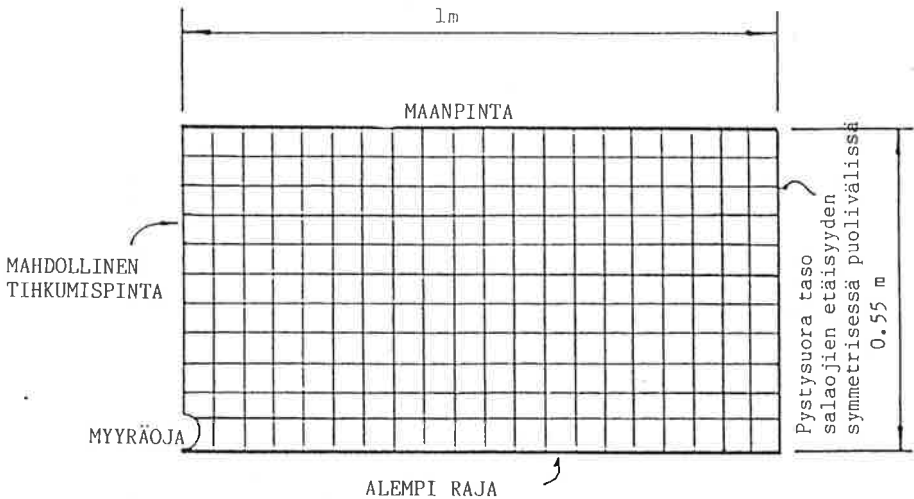
lästymisajankohta. Kylläisyysasteen pieneneminen 350 mm syvyydellä sateen lakattua osoittaa veden virtaavan 550 mm syvyydellä oleviin salajiin.

Savimaalajeissa tapahtuvaa kyläistä virtausta hallitsee halkeamissa tapahtuva virtaus, ja halkeamien laajuuden ja koon vaikutukset virtaukseen voidaan arvioida olettamalla savimaan sisältämässä pienissä huokosisissa tapahtuvan virtauksen olevan määrältään merkityksetöntä ja ottamalla huomioon ainoastaan halkeamissa tapahtuvan virtauksen.

Simuloimalla maan halkeilua yksinkertaisella verkkosysteemillä, joka on esitetty kuviossa 2, ja tarkastelemalla tilannetta, jossa maanpinnalle on muodostunut lammikoita, jotka aiheuttavat tasaisen virtauksen, voidaan edellä esiteltyä yhtälöä käyttää halkeamissa tapahtuvan virtauksen tarkasteluun. Jatkuvuuden tulee olla tyydyttävää jokaisen halkeamiristeyksen kohdalla, ja halkeamien leveyden ja paikallistetulla vyöhykkeellä tapahtuneen maan häiriytymisen vaikutuksia kahden metrin välein sijaitseviin myyräöjiin suuntautuvaan virtaukseen on tarkasteltu toistuvalla jännityksenpoistomenetelmällä.

Kuviossa 3 esitetään mallin avulla saadut tulokset salajoissa tapahtuvasta virtauksesta kahdeksassa tilanteessa (T1 - T8) suhteessa yhtenäisesti halkeilleesta maasta tulevaan kuivatusvirtaukseen, kun yhtenäisesti halkeileen maan horisontaaliset ja vertikaaliset halkeamat ovat kauttaaltaan ulottuvuuksiltaan samanlaiset.

Vertailemalla T1:tä (vertailu) T2:een voidaan nähdä, että tihkumispinnan olemassaolo salaojan yläpuolella parantaa salaojan toimivuutta. Tällainen tihkumispinta tulee jopa



Kuvio 2 Simuloitu halkeamaverkosto myyräojitetussa savimaassa.

kriittisemmäksi tekijäksi, kun vertaillaan tilanteita, joissa maan ylemmässä kerroksessa on suurempia halkeamia (ja tästä johtuen myös suurempi läpäisevyys) kuin jankossa (T3 - T8). Tällaisia tilanteita syntyy usein savimaissa Iso-Britanniassa, missä rakenteen kehittyminen ja halkeilu on paljon voimakkaampaa maaperän ylemmissä kerroksissa. T3 osoittaa, että tihkumispinnan puuttuminen vähentää suuresti salaojassa tapahtuvaa virtausta tällaisessa kaksikerroksisessa tilanteessa verrattuna samaan tilanteeseen, jossa tihkumispinta on olemassa (T4).

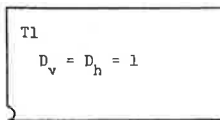
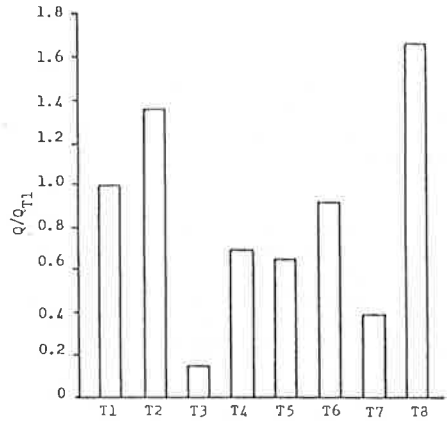
Salaojan yläpuolella olevan maan häiriyttäminen lisää halkeamien kokoa. Tässä tapauksessa (T5) virtaus lisääntyy voimakkaasti, ja on määrältään yhtäsuurta kuin tapauksessa, jossa tihkumispinta oli olemassa (T4). Vertaillaessa T4:n ja T5:n välisiä eroja, voidaan nähdä, että ero salaojan yläpuolella suoritettun muokkauksen ja tihkumispinnan välillä on vähäinen. Todellisuudessa myyräauran veitsi saa aikaan tihkumispinnan veitsen uran yhteyteen ja synnyttää halkeamia uran molemmin puolin saaden ai-

kaan tilanteen, joka on esitetty tapauksessa T6. Tässä tapauksessa virtausnopeus on vieläkin parempi ja yhtäsuuri kuin tilanteessa T1.

Tilanteissa, joissa tapahtuu tiivistymistä, ovat horisontaaliset halkeamat alttiimpia sulkeutumiselle kuin vertikaaliset halkeamat. Tilanteessa T7 ovat halkeamat supistuneet puoleen ylemmässä maakerroksessa olevien vertikaalisten halkeamien koosta. Virtaukset ovat pienentyneet huomattavasti verrattuna tilanteeseen T4, mikä osoittaa horisontaalisten halkemien tärkeyden virtausregiimin kannalta. Pehmeässä maassa halkeamien koko on suurempi. Tilanteessa T8 esitellään tapaus, jossa ylemmän maakerroksen halkeamat ovat kasvaneet 1.3 kertaisiksi verrattuna tilanteeseen T4. Tämä halkeamaleveyden kasvu kaksinkertaistaa ylemmän maakerroksen näennäisen hydraulisen johtavuuden. Virtauksessa ennustetaan tapahtuvan hyvin merkittävää kasvua. Maan muokkaaminen saattaa kuitenkin usein kasvattaa halkeamakokoja vähintään yhden suuruusluokan verran. Kun tihkumispinta on olemassa

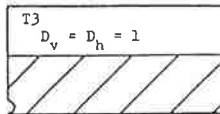
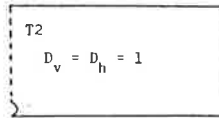
ja maa muuttuu kylläiseksi, voidaan muokatu-
n maan virtausnopeuksien odottaa olevan
hyvin korkeita.


Kuvio 3 Kahdeksan halkeamasysteemin vir-
tausnopeudet (Q) kylläisessä savimaassa
suhteessa tasaisesti halkeilleen maan virtaus-
nopeuteen (Q_{T1}). (Ojaväli 2 m, salaajitus
(myyräojitus)syvyys 0.5 m).

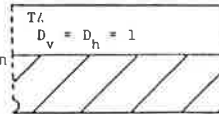


SELITYKSET

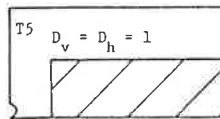
↑
↓
TIHKUMIS-
PINTA



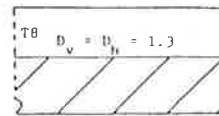
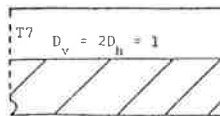
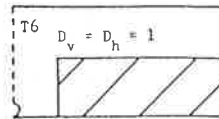
 $D_v = D_h$
= 0.5



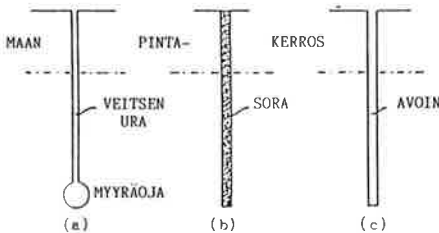
D_v = Vertikaalisen
halkeaman
leveys



D_h = Horisontaalisen
halkeaman
leveys



Tilannetta, jossa koko maaperä muuttuu kylläiseksi, voidaan pitää pahimpana mitä salaojitetuilla /myyräojitetuilla savimailla saattaa tapahtua. Myyräojan yläpuolella aikaan saatavien tihkumispintojen tärkeys on osoitettu selvästi. Myyräojituksen yhteydessä myyräauran veitsi muodostaa myyräojan yläpuolelle laajan halkeaman, jota voidaan pitää tihkumispintana. Erilaisten myyräauran veitsien käytön on osoitettu suurentavan veitsen muodostamaa uraa ja myyräaurauksen yhteydessä syntyviä halkeamia (Webb, 1981). Kun myyräauran veistä karhennetaan tai sen leveyttä lisätään, lisääntyy halkeileminen ja on mahdollista saada aikaan stabiilimpia veitsenuria, jotka toimivat tihkumispintoina kosteissa maaperäolosuhteissa (kuvio 4).



Kuvio 4 (a) Myyräojan veitsenura tihkumispintana.
(b) Soralla täytetty ojakaivanto (ura) tihkumispintana.
(c) Avoin ojakaivanto (ura) tihkumispintana.

Vaihtoehtoisesti voidaan muodostaa kapea vertikaalinen ojakaivanto, joka täytetään soralla (kuvio 4b). Stabiileihin maalajeihin vertikaalinen ojakaivanto voidaan muodostaa ilman soratäytettä (kuvio 4c). Tällaisten ojakaivantojen kaivamista varten on olemassa välineitä, ja ne ovat osoittautuneet jossain määrin käyttökelpoisiksi ruohoa kasvavilla alueilla.

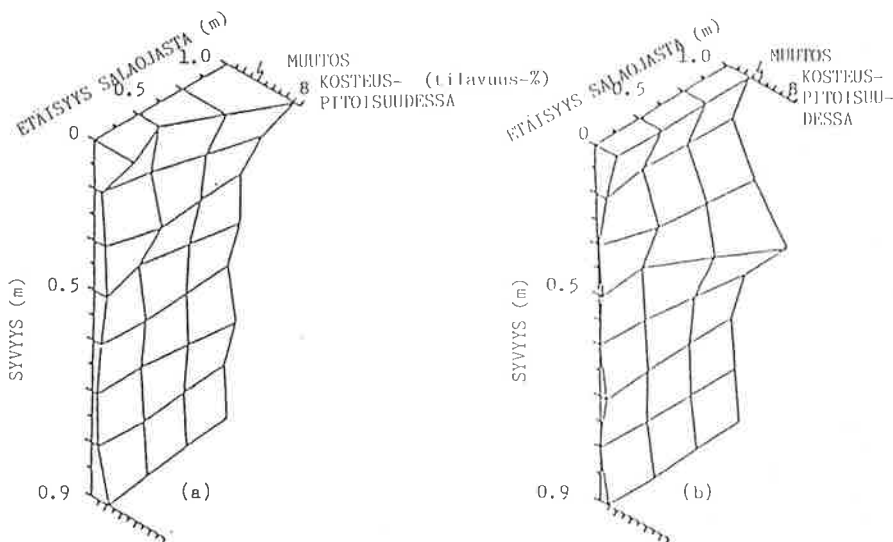
Maaperissä, joissa pintamaa on paljon lä-

päisevempää kuin jankko, saattaa usein esiintyä orsivettä. Tässä tapauksessa läpäisevä ylempi kerros muuttuu kylläiseksi vaikka jankkokerros saattaa pysyä epäkylläisenä. Hiekkatankeissa suoritettut tutkimukset osoittavat, että pintakerroksessa olevan "vesialtaan" pohjana voidaan pitää näiden kahden kerroksen välistä jakopintaa tihkumispinnan kohdalla.

Jäykkiä savimaaleja koskevissa kenttätutkimuksissamme olemme käyttäneet orsiveden havaitsemiseksi nopeasti reagoivia tensiometrejä. Orsivettä esiintyy tavallisesti päällimmäisessä 250 mm syvyisessä kerroksessa, mikä usein on muokatun kyntökerroksen syvyys. Syvyyksien 250 ja 350 mm välillä maa saattaa olla epäkylläistä ja syvyyksien 350 mm ja 550 mm (ojitussyvyys) välillä saattavat halkeamat jälleen muuttua kylläisiksi. Tämä tilanne esiintyy usein muokatulla mailla, joissa ylemmissä kerroksissa tapahtuva halkeilu on huomattavasti voimakkaampaa kuin alemmissä maakerroksissa tai joissa maan uudelleenrakentuminen tapahtuu muokatun kerroksen pohjalla.

Maan häiriytymisen vaikutus infiltraatioon

Kun halkeilun on osoitettu vaikuttavan suuresti kylläiseen virtaukseen, ovat Leeds-Harrison ja Jarvis (1986) mallitutkimuksissaan osoittaneet savimaan kyvyn siirtää vettä nopeasti alaspäin pohjaveteen riippuvan siitä nopeudesta, jolla vesi tulee maanpinnalle (so. sadannan tai kastelun teho) sekä halkeamatiheydestä. Kun vedentulon nopeus on pienempi tai yhtäsuuri kuin savikkokareiden tai aggregaattien imeytämisenopeus, imeytyy suurin osa maanpinnalle tulleesta vedestä vertikaalisessa suunnassa maanpinnalta alaspäin. Vedentulon tehon lisääntyminen aiheuttaa veden virtaamisen kockareista maan halkeamiin, joista se saattaa imeytyä horisontaalisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että savimaassa voidaan havaita salaojissa /myyräojissa tapahtuvaa virtausta tilanteessa, jossa sadanta on voimakasta, vaikka maa varastoisikin vettä kockareisiin.

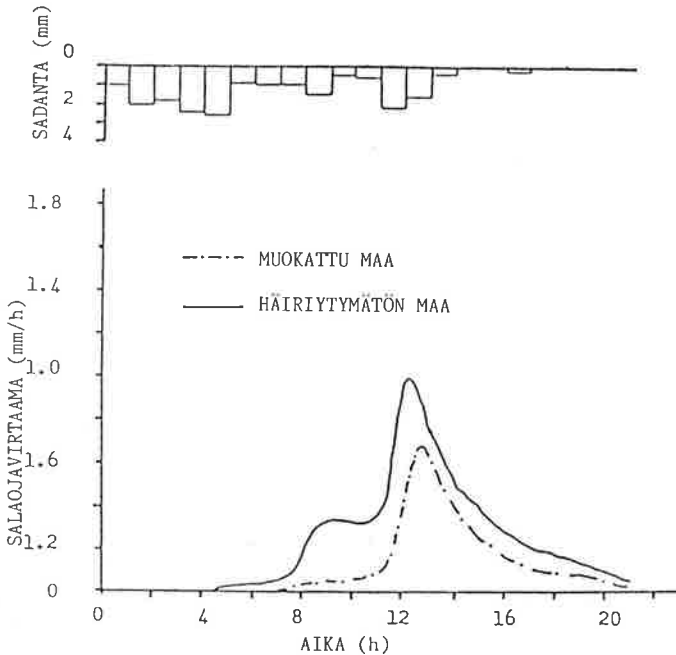


Kuvio 5 Muutokset kosteuspitoisuuksissa eri syvyyksillä (a) muutussa maassa ja (b) häiriytymättömässä maassa ruohoa kasvalla alueella 24 mm suuruisen sadantatapahtuman jälkeen (Shipway, 1986).

Kenttätutkimuksissa on veden varastoitumista ja salaojavirtaamia vertailtu muokatun ja häiriytymättömän savimaan välillä (Shipway, 1986). Kuviossa 5 esitetään varastoituneen veden määrässä tapahtuvat muutokset näiden kahden vaihtoehdon osalta. Häiriytymättömään maahan, jossa on vähän suuria halkeamia, on varastoitunut vähemmän vettä kuin muokattuun maahan, joka sisältää paljon halkeamia. Häiriytymättömässä maassa vesi on varastoitunut pääasiassa salaojasyvyydelle (550 mm), mutta muokatussa maassa vesi on varastoitunut lähelle maanpintaa. Kuviossa 6 esitetään kuivatusvirtaukset samojen vaihtoehtojen osalta. Kuten voidaan odottaa, alkaa kuivatusvirtaus muokausvaihtoehdon kohdalla myöhemmin, ja se on vähäisempää.

Halkeamien määrän lisääntyminen lisää sisäisesti kosteiden pintojen määrää, joten savimaan imemän veden määrä kasvaa hal-

keamien lukumäärän kasvaessa. Oletamme sen tähden, että maan muokkaaminen tekee mahdolliseksi suuremman vesimäärän varastoitumisen maaperään ja tämän johdosta salaojavirtaamat pienenevät tapauksissa, joissa sadanta imeytyy maahan. Tällainen tilanne on tyypillinen kostumistilanne maaperässä sadonkorjuuta ja kasvualustan valmistelu (muokkaamista) seuraavan jakson aikana. Keväällä maa turpooa, jolloin jäljelle jäävät vain pysyvät halkeamat, jotka johtavat vettä salaojiin (myyräojiin). Vaikka jo valmiiksi kosteaan maaperään varastoituukin vähemmän vettä, saattaa virtausnopeus olla alhainen johtuen halkeamien alhaisesta johtavuudesta. Kenttätutkimuksissamme on pantu merkille tällainen virtauskäyttäytyminen, ja sitä ovat selostaneet muut tutkijat (Reid ja Parkinson, 1984; Robinson ym., 1987).



Kuvio 6 Kuivatusvirtaamahydrografit (a) 200 mm syvyydeltä muokatulle maalle ja (b) häiriitymättömälle maalle (salaojien välit 2 m, ojitussyvyys 0,55 m) (Shipway, 1986).

Kuivatusvirtaamat

Kuivatusta koskevat teorit osoittavat, että virtausnopeus (q) salaojasta riippuu vedenpinnan korkeudesta (h) salaojien välissä niiden tason yläpuolella.

so. $q = f(h)$

Sadantatilanteissa vedenpinnan korkeuden nousu riippuu maan kuivatettavissa olevasta huokoisuudesta ja vedenpintaan imeytyvän veden määrästä. Jos kuivatettavissa oleva huokostilavuus on pieni, aiheuttavat pienet vesimäärät suuria nousuja vedenpinnan korkeudessa.

Maaperissä, joissa kylläinen kerros on lähellä

salaojaa sen alapuolella tai joissa salaojan voidaan katsoa sijaitsevan juuri heikosti läpäisevän kerroksen päällä, voidaan katsoa päteväksi seuraava väite:

$$q \propto h^2$$

Näin ollen kuivatusvirtaus on nopeaa ja laantuu lyhyessä ajassa sadannan jälkeen, jos kuivatettavissa oleva huokostilavuus on pieni ja se keskittyy muutamaa katkeamattomaan suureen halkeamaan (Leeds-Harrison ym., 1986).

Muokatussa maassa veden siirtyminen salaojiin saattaa sen tähden olla hitaampaa, kun taas turpoavissa savimaissa, joissa on suoritettu vähäisin mahdollinen muokkaus ja hal-

keilu on epäjatkuvaa, voidaan odottaa virtausnopeuksien olevan korkeita. Jos maaperässä on kuitenkin havaittu jankon tai pintamaan tiivistymistä, on muokkaamisen osoitettu olevan erittäin hyödyllistä (Harris ym., 1984).

Pohdiskelua ja johtopäätöksiä

Maan muokkaamisen vaikutus lyhyin välimatkojin sijaitsevien salaojien kuivatusvirtauksen nopeuteen ja määrään riippuu maan sisältämien halkeamien laadusta ja ulottuvuudesta. Tällaisten osalta on kuivatuksen suunnittelussa ja vesitaseen malleissa otettava huomioon mahdollisuudet muuttaa halkeamien laatua maaperätalouden menetelmien avulla.

On osoitettu selvästi, että tilanteissa, joissa maan rakenne on hyvin kehittyntä ylemmissä maakerroksissa mutta heikosti kehittyntä muokkaussyvyyden alarajalla tai sen alapuolella esimerkiksi jankonmuokkauksen yhteydessä, on liikasadannan nopean poistamisen kannalta olennaista tiikumisinnan olemassaolo ja suora yhteys muokatusta maasta salaojaan. Muokattua maata arvioitaessa on kuitenkin havaittu, että alunperin kuivaan maahan varastoituvan vesimäärän kasvaessa on tuloksena vähäisempi kuivatusvirtaus. Tämän lisäksi voidaan muokkaamisesta seurauksena olevan kuivatettavissa olevan huokostilavuuden kasvun myötä odottaa hitaampia kuivatusvirtauksia.

Kuivatuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon mahdolliset maaperätaloudelliset suunnitelmat ja niiden vaikutukset kuivatusreaktioihin. Kosteilla, leudoilla alueilla, joilla liiallisen talvisadannan tuoman veden poistaminen on tärkein huolenaihe, voidaan kuivatusta tehostaa muodostamalla muutamia suuria katkeamattomia halkeamia, jotka yhdistävät ylemmät maakerrokset ja salaojan. Tässä tapauksessa veden nopea poistaminen merkitsee lyhyempää aikaa, jona maa voi turvota. Maan muokkaaminen tekee kuitenkin mahdolliseksi maamassan runsaamman vedenoton, minkä seurauksena on turpoamisen lisääntyminen. Tämän vedenoton

seurauksena on se, että maa muuttuu heikomaksi ja alttiimmaksi vaurioille koneellisten viljelymenetelmien yhteydessä.

Kuivissa ilmastoissa saattaa maan kutistumishalkeilu olla runsasta. Tässä tapauksessa saattaa pintakastelun tai sadannan yhteydessä vesi, joka muutoin varastoituisi maahan, joutua hukkaan salaojiin. Tässä tilanteessa tarvitaan maaperätaloudellisia menetelmiä, joiden tarkoituksena on vähentää maan kutistumista tai sulkea kutistumisen myötä syntyneitä halkeamia. Spoor ja Leeds-Harrison (1986) ovat esittäneet selostuksen Egyptissä voimakkaasti turpoavassa savimaassa suoritetusta kuivatus- ja maanparannustutkimuksesta, jossa veden nopea liikkuminen maan kutistumisen myötä syntyneiden ja työvälaineiden avulla muodostettujen halkeamien kautta aiheutti erittäin heikon huuhtoutumisen ja saven dispersion, minkä seurauksena salaojat tukkeutuivat. Salaojarakennusmenetelmään oli tehtävä muutoksia veden nopean siirtymisen estämiseksi lamnikoista salaojiin. Pintamaan tiivistäminen pintahalkeamien sulkemiseksi tuotti tuloksetsi tyydyttävän huuhtoutumisen.

Maan kostuessa tapahtuva turpoaminen pienentää kuivatettavissa olevaa huokostilavuutta ja hydraulista johtavuutta. Tämä puolestaan vaikuttaa sadantatapahtumien aiheuttamiin kuivatusreaktioihin. Muokkaus- ja salaojitusmenetelmien tavoitteena pitäisi olla pysyvien katkeamattomien halkeamien muodostaminen, mikä tekisi veden nopean liikkumisen salaojaan mahdolliseksi silloinkin kun maa on kostea. Maan muokkaamisen seurauksena oleva maan nopea kostuminen saattaa aiheuttaa maassa olevien halkeamien ja salaoja (myyräoja) kanavien nopean luhistumisen (Spoor ja Ford, 1987). Koska on mahdotonta estää sateita, olisi hyödyllistä ajoittaa salaojitus- ja muokkaustoimenpiteet kuiville kausille.

Voidaan tehdä se johtopäätös, että savimaa-lajien kuivatuskäyttäytyminen on äärimmäisen riippuvaista maassa olevista halkeamista.

Muokkauksen avulla tapahtuvalla maan häi-

riyttämisellä on merkittävä vaikutus maahan varastoituvan veden määrään ja kuivatusvirtauksen nopeuteen. Näiden maalajien salaojituksen suunnittelua ja salaojitusta varten tarvitaan ymmärtämystä veden virtausprosessista maan halkeamissa ja maamasassa.

Halkeamisvirtausilmiön takia saattaa olla tarpeen muuttaa savimaalajien salaojitusmenetelmiä kuivatusongelman ja myöhemmin suoritettavien maaperätaloudellisten toimenpiteiden huomioon ottamiseksi. Mahdollinen keino savimaiden salaojituksen kehittämiseksi on salaojituskoneiden muuttaminen siten, että varmistetaan tihkumispintojen ja pysyvien halkeamien muodostuminen.

Halkeamavirtauksen mekanismi sekä kylläisessä että epäkylläisessä tilanteessa eroaa rakeisten jyykkien maalajien virtausmekanismeista. Maaperä- ja vesitalouden mallien käytössä kokkareisten savimaalajien yhteydessä on oltava varovainen, koska ne eivät ota huomioon veden virtaamista halkeamien läpi. Mitattujen maaperäparametrien muuttaminen maan muokkaamisen huomioon ottamiseksi on ollut menestykseltään rajoitettua.

Lähteet

Kneale W.R., and White R.E., 1984: The Movement of Water Trough Cores of a Dry (Cracked) Clay Loam Grassland Topsoil J., Hydrology 67, 361-365

Leeds-Harrison P.B., Spoor G., Godwin R.J., 1982: Water Flow to Mole Drains, J.Agric.Engng. Res. 27,81-89

Leeds-Harrison P.B., Shipway C.J.P., Jarvis N.J., Youngs E.G., 1986: The Influence of Soil Macroporosity on Water Retention Transmission and Drainage in a Clay Soil, J. Soil Use and Management 2,47-50

Leeds-Harrison P.B., and Jarvis N.J., 1986: Drainage Modelling in Heavy Clay Soils, Proc. International Seminar on Land drainage, Helsinki, Eds. Saavalainen J., and

Vakkilainen P.

Shipway C.J.P., 1986: The Physics of Water Movement Trough Clay Soils to Mole Drains Unpublished Ph.D. Thesis, Silsoe College, Cranfield Institute of Technology

Spoor G. and Ford R.A., 1987: Mechanics of Mole Channel Deterioration, J. Soil Sci. 38,369-383

Reld I., and Parkinson R.J., 1984: The nature of the Tile Drain Outfall Hydrograph in Heavy Clay Soils J. Hydrology 72, 289-305

Robinson M., Mulqueen J., Burke W., 1987: Outfalls from a Clay Soil - Seasonal Changes and the effect of Mole Drainage J. Hydrology 91, 339-350

Webb D.W., 1981: Vertical Crack Formation with Narrow Drainage Tines, Unpublished MSc. Thesis, Silsoe College, Cranfield Institute of Technology.

Bouma J., Jongerius A., Boersma O., Jager A., Schoonderbeek D., 1977: The Function of Different Types of Macropores During Saturated Flow Through Four Swelling Clay Soil Horizons, Soil Sci. Soc. America Proc.41, 945-950

Childs E.C., 1969: An Introduction to the Physical Basis of Soil Water Phenomena, Pub. John Wiley, London

Germann P., and Beven K., 1981: Water Flow in Soil Macropores, J. Soil Sci. 32 1-13

Harris G.L., Goss M.J., Dowdell R.J., Howse K.R., Morgan P., 1984: A Study of Mole Drainage with Simplified Cultivation for Autumn Sown Crops on a Clay Soil 2. Soil Water Regimes, Water Balances and Nutrient Loss in Drain Water 1978-80, J. Agric. Sci. 192, 561-581

Salaojien syvyyden vaikutus hiekkaisen maaperän kuivuuteen

Puheenjohtaja Augustine B. Rashid-Noah, Agricultural Engineering Department, Njala University College, Private Mail Bag, Freetown, Sierra Leone

Johtaja Robert S. Broughton, Centre for Drainage Studies, Macdonald College, McGill University, Montreal, Quebec, Kanada

Tutkimusinsinööri Bernhard von Hoyningen Huene, Centre for Drainage Studies, Macdonald College, McGill University, Montreal, Quebec, Kanada

Liika kuivuminen ongelmana

Salaojia tarvitaan ainakin 1 500 000 hehtaarin alueella Quebecin osalla St. Lawrencen alangoista, jos alotaan saavuttaa näiden alueiden ruoantuotantokyky (Jutras, 1967). Lähes samansuuruisen alue Ottawan ja St. Lawrencen alankoalueilla Ontarion itäosissa kaipaa salaojituksen avulla suoritettavaa maanparannusta,

Salaojia rakennetaan noin 80 000 hehtaarin suuruiselle alueelle joka vuosi alueen kuivatuksen parantamiseksi; tämä rakentamismäärä vastaa 8 000 hehtaarin vuotuista kasvua tarkastelujaksolla.

Viime aikoihin asti on suurin osa salaojista rakennettu savi-, savihie- ja hiesuhiuemaaperiin. Vain pieni osa salaojista on rakennettu maaperiin, joiden hiekkakokoisen materiaalin pitoisuus on korkea. Viime aikoina on esiintynyt oireita siitä, että jotkut hiekkapellot olisivat kärsineet kuivuudesta johtuen liiallisesta kosteuden poistumisesta, johon on osasyynä ollut salaojien sijoittaminen 0.60 metriä suuremmille syvyyksille.

On epätodennäköistä, että savi- ja hiesuhiuemaalden tilavuudesta enemmän kuin 12 % kuivuisi riippumatta salaojien sijaintisyvyydestä. Joidenkin hiekkaisen maalajien kuivumisominaisuudet ovat sellaiset, että maan tilavuudesta 30 % tai enemmän voidaan mahdollisesti kuivattaa salaojien avulla, jos salaojat on rakennettu 1.2 m syvyydelle

tai syvemmälle. Tämä ylittää ilmatilaa koskevan tarpeen, kun useimpien kaupallisesti viljeltävien kasvien kohdalla katsotaan ilmatilan riittäväksi suuruudeksi 5-15 % maan tilavuudesta (Grable ja Siemer, 1968; Wesseling, 1974). Maan tilavuudesta 15 % suuremman osan kuivattaminen saattaa pienentää evapotranspiraatiota varten saatavilla olevan veden määrää huolestuttavissa määrin. Sitäpaitsi, jos salaojat sijoitetaan 0.6 m syvyyttä alemmaksi ja vedenpinta alenee tälle syvyydelle, aiheuttaa huokkosveden ylimmässä 200 - 300 mm paksuisessa maakerroksessa alulle panema imukylläisen hydraulisen johtavuuden voimakkaan pienentymisen. Tämä puolestaan johtaa alemmaa kasvien juuristoon suuntautuvan vuon pienentymisen (Gardner, 1958; Skaggs, 1978).

Sen lisäksi, että maaperissä, joissa salaojat tai vedenpinta sijaitsevat/sijaitsee syvällä, on saatavilla olevan veden määrä alhainen, myöskin nopeasti liikkuvat lannoitteet, kuten NO₃-typpi (nitraatti-typpi), huuhtoutuvat nopeasti veden mukana maaperän läpi (Lembke ym., 1980).

Tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteet olivat:

1. Suorittaa laboratoriomittauksia ontolla kairalla otetuista häiriytymättömistä näytteistä St. Lawrencen alankomaiden viljelymaiden joidenkin hiekkamaalajien kuivumisominaisuuksien määrittämiseksi.

2. Käyttää hyväksi kuivumisominaisuuksia määritettäessä saatavilla olevan veden määrä tilanteissa, joissa salaajat oli sijoitettu 0.60 m ja 1.20 m syvyydelle.

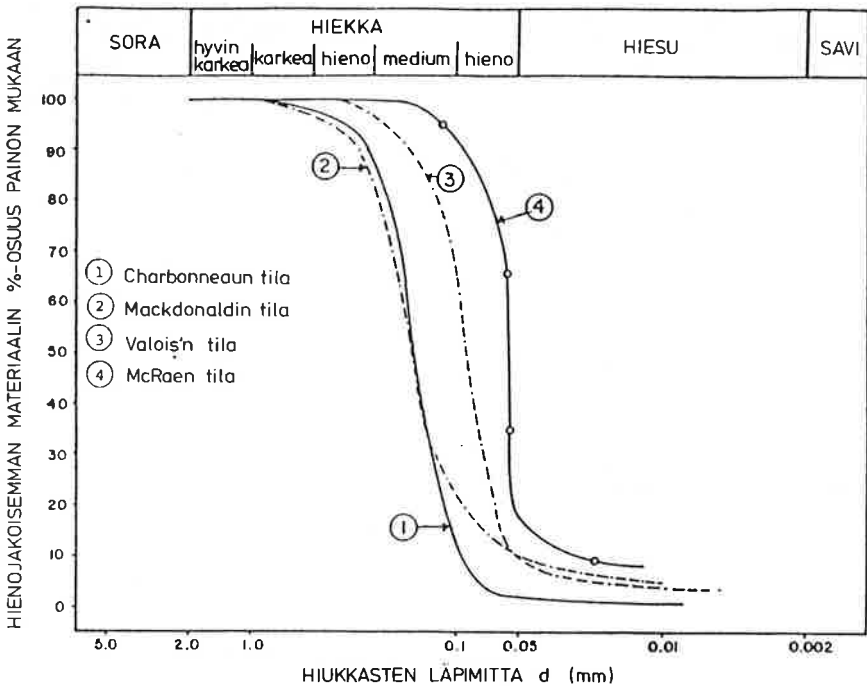
3. Käyttää hyväksi säätä ja maissviljakasveja koskevia tietoja määritettäessä kuivuuden laajuutta, joka on tuloksena erilaisista tilanteista maaperässä, kun maavettä on saatavilla erisuuruisia määriä.

Menetelmät

Tutkimukseen valittiin neljä peltoaluetta, joista kolme sijaitsi Quebecissä ja yksi Ontariossa Kanadassa 120 km säteellä Montrealista. Näiden peltojen sisältämien maalajien tekstuurit vaihtelevat erittäin hie-

nosta hiekasta tai hiesusta hienoon hiekkaan. Maan luonnollinen kuivatus vaihteli Bainsvillesissä Ontariossa sijaitsevan McRaen tilan heikosta kuivatuksesta Sainte Anne de Bellevuessa Quebecissä sijaitsevan Macdonaldin tilan Saint Benoit -maalajin hyvään kuivatukseen. Kuviossa 1 on esitetty maanpinnan ja 0.34 - 0.45 m syvyyden väliltä otettujen maanäytteiden hiukkaskokojakaumat.

Jokaisella alueella näytteet otettiin sisähalkaisijaltaan 74 mm suuruisten ja 40 mm pitkien alumiinirenkaiden avulla käyttäen erikoisvalmisteisia näytteenottolaitteita. Näytteet otettiin kuudesta vähintään 1.2 m syvyydelle kaivetusta kuopasta, joiden halkaisija oli yksi metr.



Kuvio 1 Tutkittujen tilojen maiden hiukkaskokojakaumat.

Taulukko 1 Tutkimuksessa saadut asiaankuuluvien maa-vesiparametrien keskiarvot.

Tutkimusalue	Syvyys, jolta näyte otettiin m	Kosteuspitoisuuden kenttäarvo tilavuus-%	Kosteuspitoisuus 60 cm imun kohdalla tilavuus-%	Kosteuspitoisuus 15 baarin paineen kohdalla tilavuus-%	Vedenpinnan korkeus näytteenottohetkellä m
Macdonaldin tila	0.40	19.80	17.10	7,97	> 1.20
Valoisin tila	0.65	17.69	28.00	3.52	1.00
Charbonneau'n tila	0.45	25.72	22.50	3.12	> 1.20
McRaen tila	0.34	38.46	39.50	14.94	1.20

HUOM! 1. Maan kosteuspitoisuuden kenttäarvot osoittavat kosteuspitoisuuden näytteenottohetkellä. Näiden arvojen tulisi olla suunnilleen yhtäsuuret kuin kenttäkapasiteetti-arvojen, koska näytteet otettiin hieman erään sadantajakson jälkeen.

2. Kosteuspitoisuutta 15 baarin paineen kohdalla pidetään pysyvänä lakastumisrajana.

Näytteitä otettiin kahdelta syvyydeltä: 0.40 - 0.65 m syvyydeltä ja 0.75 - 1.10 m syvyydeltä. Jokaiselta syvyydeltä otettiin kaksi tai kolme näytettä. Myös ylimääräiset näytteet otettiin alumiinirenkaiden avulla kosteuspitoisuuden kenttäarvon ja maan tilavuuspainon määrittämistä varten.

Jokaisen näytteen ottamisen jälkeen sen päät päällystettiin 0.5 mm paksuisella savi-peatteella. Jokainen näyte asetettiin polyetyleenisukkaan ja tiiviiseen metalliastiaan. Metallipurkit asetettiin sisältä pehmustettuihin metallisiin kantolaukkuihin ja kuljetettiin laboratorioon.

Näytteiden oton yhteydessä tehtiin havaintoja maaperän fysikaalisista ominaisuuksista kuten kerrostuneisuudesta, vedenpinnan syvyydestä ja siitä, miltä maa yleisesti ottaen näytti. Rashid-Noah (1981) on esittänyt yksityiskohtaisen kuvauksen kolmen tutkimusalueen maaperästä. Päivän tai kahden kuluttua

näytteiden otosta kuivattiin jokaisesta kuopasta otetut ylimääräiset näytteet uunikuiviksi lämpötilassa 105 °C, minkä jälkeen ne jäädytettiin kuivauskaapissa ja punnittiin. Näytteen tilavuuden sekä näytteen massan alkuperäisen ja lopullisen painon perusteella määritettiin maan kosteuspitoisuus ja tilavuuspaino.

Maan kosteusominaisuuksien mittaamista varten peitettiin jokaisen jäljelle jääneen näytteen toinen pää kangasverkolla, jota piti paikoillaan kuminauha, maan pitämiseksi paikoillaan kyllästämisen ja mittauksien aikana. Kyllästäminen suoritettiin loppuun käyttämällä ilmaa sisältämätöntä vettä, joka oli aikaisemmin keitetty ja jäädytetty huoneen lämpöiseksi. Imupöytä peitettiin tämän jälkeen pleksilasilla näytteistä tapahtuvan pinta-haihduksen minimoimiseksi. Imu asetettiin 0.20 m lisäyksin aina huippuarvoon 0.60 saakka. Jokaisen tasapainottumisjakson lopussa (yleensä havaittiin 24-36 tunnin pi-

tuisten aikojen olevan riittäviä näiden hiekkamaalajien tasapainottumiseen) näytteet punnittiin ja asetettiin uudelleen imupöydälle, ja niiden annettiin kyllästyä uudelleen noin 6-8 tunnin ajan. Koska ilman sisääntulopiste huokoiseen väliaineeseen oli noin 0.70 m, näytteet siirrettiin Hainen imuputkeen sen jälkeen kun 0.60 m suuruinen kokonaisimu oli saavutettu hiekkaimupöydällä, minkä jälkeen mittauksia jatkettiin. Hainen imuputkessa saavutettiin vähintään 1.2 m suuruinen imu. Mittausten lopussa näytteet kuivattiin uunissa 105 °C lämpötilassa, jäädytettiin kuivauskaapissa ja punnittiin uudelleen.

Jokaisen imutason kohdalla vähennettiin uunikuivan maan + renkaan massan paino kostean maan + renkaan massan painosta, jotta saataisiin tulokseksi näytteen sisältämän veden massan paino. Kosteuspitoisuuden (tilavuusprosentteina) arvot jokaisen imutason kohdalla määritettiin kahdesta tai kolmesta näytteestä ja niistä piirrettiin kaavo

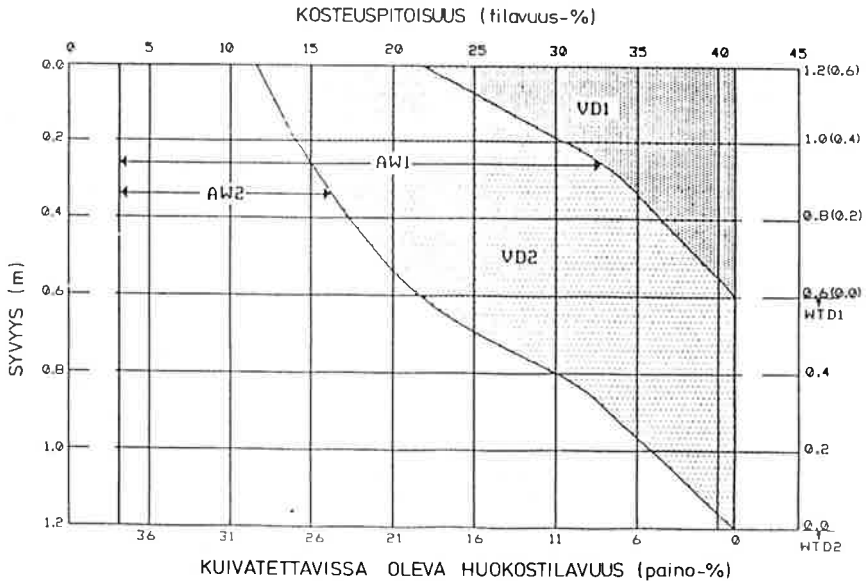
imun suhteen.

Tulokset ja pohdiskelua

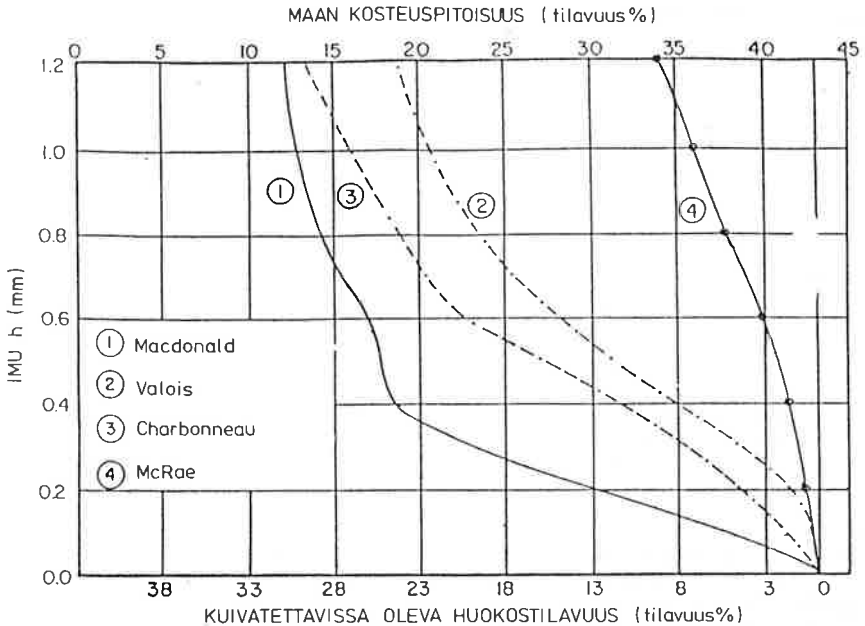
Taulukossa 1 esitetään joitakin kosteuspitouuden kenttäarvoja yhdessä muiden tutkitavista maalajeista määritettyjen parametrien kanssa.

Kuviossa 2 esitetään tyypillisen Kanadassa Quebecissä Richelieun kunnassa lähellä St. Louisia sijaitsevalta Charbonneau tilalla 0.65 m syvyydeltä otetun näytteen maankosteusominaisuuksia.

Jos vedenpinta on 0.60 m syvyydellä maanpinnasta ja vedenpinnan yläpuolella oleva maa on kuivatettu tasapainotilaan, on kuivatetun maan tilavuus lähes kolmikulmainen alue, joka on nimetty VD1:ksi. Pintamaan kuivatettu huokostilavuus on 19 % imuarvon ollessa 0.60 m. Maa, jossa imuarvon suuruus on nolla, edustaa tilannetta, jossa vedenpinta on maanpinnan tasolla. Tällöin on kuivatettu



Kuvio 2 Charbonneau tilalta otetun maanäytteen maankosteusominaisuudet.



Kuvio 3 Jokaiselta neljältä tilalta otettujen näytteiden kuivatettavissa olevan huokostilavuuden ja imun välisen suhteen keskiarvot.

huokostilavuus nolla. Kuivatetun maan keskimääräinen tilavuus on 8.8 % maanpinnan ja 0.60 m syvyyden välillä.

Tilanteessa, jossa tehoisa juurtumissyvyys on 0.40 m, saadaan käytettävissä oleva maaveden määrä (AW) mittaamalla pysyvän lakatumisrajan (PWP), maan kosteuspitoisuusakselin, 0.60 m kosteudenpidättyvyyskäyrän ja 0.40 m syvyyden rajoittama alue. Tämän käyrän perusteella lasketaan AW:n olevan suuruudeltaan $105.5 \text{ mm}^3/\text{mm}^2$ eli 105.5 mm.

Jos viljelykasvin tehoisa juurtumissyvyys olisi 0.60 m, olisi käytettävissä olevan maaveden määrä $176 \text{ mm}^3/\text{mm}^2$.

Kun vedenpinta on 1.20 m syvyydellä ja sen

yläpuolella oleva maa on kuivatettu tasapainotilaan, edustaa kuivatetun maan tilavuutta kuvion 2 alue, joka on nimetty VD2:ksi. Lähellä maanpintaa oleva maa on erittäin kuivaa, 29.7 prosenttia sen tilavuudesta on kuivatettu. Kuivatetun maan tilavuus on keskimäärin 17.6 %. Viljelykasvin juurtumissyvyyden ollessa 0.40 m on käytettävissä olevan maaveden määrä 44 mm.

Näiden laskutoimituksien tuloksien perusteella voidaan havaita, että vedenpinnan syvyydellä on korostunut vaikutus sekä kuivatetun maan tilavuuteen että kasvien käyttöön saatavilla olevan veden määrän, kun kyseessä on maalaji, jonka kuivatusominaisuudet ovat kuviossa 2 esitetyn kaltaiset. Sen huokostilavuuden prosenttiosuus, joka on kuivatettu vedenpinnan ollessa 1.20 m syvyydellä, on

Taulukko 2 Käytettävissä olevan maaveden määrä 0.40 metrin syvyydellä maanpinnan alapuolella neljän tilan osalta.

Tutkimusalue	Käytettävissä oleva maaveden määrä (mm) vedenpinnan syvyyden ollessa	
	0.60 m	1.20 m
Macdonaldin tila	36.52	17.72
Valoisin tila	97.90	58.00
Charbonneau'n tila	77.50	40.00
McRaen tila	98.20	76.20

HUOM! Käytettävissä olevan maaveden määrää koskevat laskutoimitukset perustuvat kuvion 5 maankosteustietoihin sekä taulukossa yksi esitettyyn pysyvän lakastumisrajan kosteuspitoisuuteen (kosteus pitoisuus 15 baarin paineen kohdalla).

kaksinkertainen verrattuna kuivatettuun huokostilavuuteen vedenpinnan ollessa 0.60 m syvyydellä. Tällaista kuivatusta pidetään liiallisena, ja se ylittää runsain mitoin kasvihengityksen ilmatilan suuruudelle asettamat vaatimukset.

Käytettävissä olevan maaveden muodossa ilmoitettuna aiheuttaa 1.2 m syvyydellä oleva vedenpinta AW:n pienenemisen 77.5 mm:stä 40.0 mm:iin, kun viljelykasvin juurtumissyvyys on 0.40 m. Erot viljelykasvien kasvussa tulisivat olemaan vieläkin suurempia, koska vedenpinnan ollessa 0.60 m syvyydellä pystyy juurivyöhykkeelle nousemaan kapillaari-ilmiön vaikutuksesta enemmän vettä kuin jos vedenpinta olisi 1.20 m syvyydellä. Taulukossa 2 esitetään käytettävissä olevan maaveden määrä, joka saatiin tulokseksi käyttämällä laskutoimituksissa kuviota 5 ja taulukkoa 1. AW:n laskemisessa käytettiin taulukossa 1 esitettyjä pysyvän lakastumisrajan kosteuspitoisuuksia.

Kuviossa 3 esitetään kuivatettavissa olevan huokostilavuuden ja imun välisen suhteen kokonaiskäyrät kaikilta tässä tutkimuksessa käytetyiltä pelloilta otettujen kairausnäyttei-

den osalta. Nämä käyrät osoittavat maan tekstuurin vaikutuksen kuivatettuun huokostilavuuteen salaojitettujen peltojen osalta. Tarkasteltaessa kuviota 1 voidaan havaita esimerkiksi se, että Kanadassa Ontariossa Glengarryn kunnassa Bainsvillesissä sijaitsevan McRaen tilan maa on erittäin hienoa hiekkaa.

Kuvio 3 osoittaa tältä tilalta otetun näytteen osalta, että 1.20 m suuruisen imun voidaan odottaa aiheuttavan niinkin pienen kuin 9 % suuruisen maantilavuuden kuivumisen, jos tämä näyte on otettu maanpinnasta. Saman suuruisen imu aiheuttaa kuitenkin 31 % suuruisen maantilavuuden kuivumisen St. Benoit -maassa Macdonaldin tilalla. St. Benoit -maalaji vaihtelee hienosta hiekasta keskiahiekkiaan.

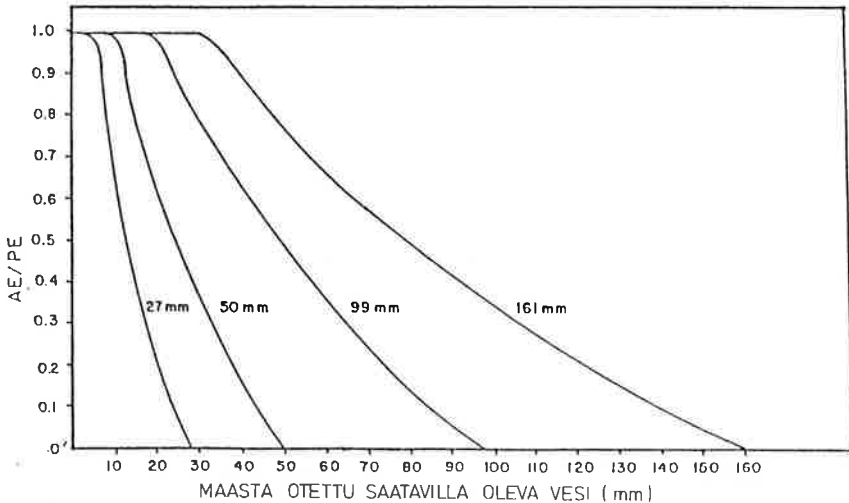
Kuvioon 4 perustuvien laskutoimitusten avulla saatuja AW-arvoja käytettiin vesitaseen laskemiseen, jotta voitiin osoittaa AW:n vaikutus maan kuivuuden laajuuteen, mihin kuvio 2 perustuu. Laskutoimitukset suoritettiin käyttämällä Foroudin ja Broughtonin (1978) käyttämää vesitaseen yhtälöä.

$$SMC_t = SMC_{t-1} + PRE_t - AE_t - EX_t$$

missä SMC_t = maan kosteuspitoisuus hetkellä t
 SMC_{t-1} = maan kosteuspitoisuus hetkellä t-1
 PRE_t = sadannan tai kastelun määrä hetken t-1 ja t välillä
 EX_t = liikaveden määrä hetken t-1 ja hetken t välillä

Maan kosteuspitoisuus laskutoimituksen alussa (SMC_{t-0}) on suurin käytettävissä oleva maaveden määrä, ja se saadaan kuviosta 4. PRE saadaan säätiedoista; käsillä olevissa laskutoimituksissa on käytetty Macdonald Collegen säätietoja. Todellinen evapotranspiraatio AE on laskettu todellisen evapotranspiraation ja potentiaalisen evapotranspiraation välisen suhteen (AE/PE) ja maaperästä käytetyn saatavilla olevan veden määrän välisen suhteen AE/PE:käytetty AW) käyristä. Nämä käyrät on interpoloitu Chiengin ja Broughtonin (1979) laskemista käyristä, ja ne on esitetty kuviossa 4. PE:tä koskevat tiedot on saatu Russejon ym. (1974) kokoamista taulukoista. PE:tä koskevat laskutoimitukset perustuvat Baier-Robertsonin kaavaan, ja ne on saatu Baierilta ym.

Sen jälkeen kun AE on otettu huomioon, esiintyy liikavesi (EX) joko salaojituksen kautta poistuvan veden tai pintavalunnan muodossa. Kuivatus tapahtuu siirtymävarastosta (transient storage, TR) niin kauan kun tämä ei ole tyhjentynyt. AE tapahtuu minä tahansa päivänä tulevasta sadannasta kyseisen päivän PE-nopeudella, muussa tapauksessa AE tapahtuu AW:stä nopeudella AE/PE x PE. Vesitasetta koskevat laskutoimitukset on suoritettu jaksolle huhtikuu - heinäkuu 1976, jolloin oli kosteampaa kuin normaalina vuotena, ja jaksolle huhtikuu - lokakuu 1978, jolloin oli kuivempaa kuin normaalina vuotena. Muilla alueilla voitiin odottaa sään olevan paljon kuivempi kuin vuoden 1978 sää Macdonaldin Collegessa. Tällaisilla alueilla kui-



Kuvio 4 Suureen AE/PE suhde juurivyöhykkeestä käytettyyn kosteuteen, kun käytettävissä olevan maaveden kokonaismäärän ollessa 27, 50, 99 tai 161 mm.

Taulukko 3 Näytteiden vesitasetta koskevat laskutoimitukset käytettävissä olevan maaveden määrän ollessa 27 mm. Käytetyt ilmastoa koskevat tiedot ovat MacDonaldin Campukselta huhtikuulta 1976.

Vrk	PE mm	AE PE	AE mm	PRE mm	AW mm	SUP mm	DEF mm	ACDEF mm
1	0.00	1.00	0.00	27.00	27.00	27.00	0.00	0.00
2	0.00	1.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	1.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	1.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00
5	1.40	1.00	1.40	0.00	25.60	0.00	0.00	0.00
6	0.00	1.00	0.00	0.00	25.60	0.00	0.00	0.00
7	0.00	1.00	0.00	0.00	25.60	0.00	0.00	0.00
8	0.00	1.00	0.00	0.00	25.60	0.00	0.00	0.00
9	0.00	1.00	0.00	0.00	25.60	0.00	0.00	0.00
10	0.00	1.00	0.00	0.00	25.60	0.00	0.00	0.00
11	0.00	1.00	0.00	3.80	27.00	2.40	0.00	0.00
12	0.00	1.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	1.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00
14	3.00	1.00	3.00	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00
15	3.60	1.00	3.60	0.30	20.90	0.00	0.00	0.00
16	3.60	0.74	2.67	6.10	24.33	0.00	0.93	0.93
17	3.20	1.00	3.20	0.00	21.13	0.00	0.00	0.93
18	5.70	0.75	4.28	0.00	16.85	0.00	1.42	2.35
19	5.70	0.60	3.40	0.00	13.44	0.00	2.30	4.64
20	3.40	0.48	1.62	0.00	11.83	0.00	1.78	6.43
21	3.80	0.42	1.58	1.50	11.74	0.00	2.22	8.64
22	3.40	0.41	1.41	6.40	16.73	0.00	1.99	10.63
23	1.80	0.59	1.07	6.90	22.57	0.00	0.73	11.37
24	2.10	1.00	2.10	0.00	20.47	0.00	0.00	11.37
25	0.30	0.73	0.22	0.00	20.25	0.00	0.08	11.45
26	0.90	0.72	0.65	19.30	27.00	11.90	0.25	11.70
27	1.30	1.00	1.30	8.60	26.10	7.30	0.00	11.70
28	1.70	1.00	1.70	0.80	26.10	0.00	0.00	11.70
29	3.30	1.00	3.30	0.00	22.80	0.00	0.00	11.70
30	3.20	1.00	3.20	0.00	19.60	0.00	0.00	11.70

vuuteen liittyvä liiallinen kuivatus olisi paljon vakavampi ongelma.

Näytteiden vesitasetta koskevien laskutoimitusten tulokset on esitetty taulukoissa 3 ja 4. Kuviossa 4 esitettyjen AE/PE-suhteiden jat-

kuvaksi arvioimiseksi kehitettiin tietokoneohjelmat minkä tahansa päivän AW-arvojen saamiseksi. Näitä AE/PE-arvoja käytettiin sitten vesitasetta koskevissa laskutoimituksissa maan kosteusvajauksen määrittämiseksi eri AW-arvojen kohdalla.

Taulukko 4 Näytteiden vesitasetta koskevat laskutoimitukset käytettävissä olevan maaveden määrän ollessa 27 mm. Käytetyt ilmastoa koskevat tiedot ovat MacDonaldin Campukselta huhtikuulta 1978.

Vrk	PE mm	AE PE	AE mm	PRE mm	AW mm	SUP mm	DEF mm	ACDEF mm
					27.00	0.00	0.00	0.00
1	0.40	1.00	0.40	0.00	26.60	0.00	0.00	0.00
2	0.00	1.00	0.00	0.00	26.60	0.00	0.00	0.00
3	0.00	1.00	0.00	0.30	26.90	0.00	0.00	0.00
4	0.00	1.00	0.00	22.40	27.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	1.00	0.00	0.00	27.00	22.30	0.00	0.00
6	0.00	1.00	0.00	1.80	27.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	1.00	0.00	0.00	27.00	1.80	0.00	0.00
8	0.00	1.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	1.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	1.00	0.00	10.40	27.00	0.00	0.00	0.00
11	0.10	1.00	0.10	4.60	27.00	0.00	10.30	0.00
12	0.10	1.00	0.10	0.10	27.00	4.50	0.00	0.00
13	1.30	1.00	1.30	5.00	25.80	0.00	0.00	0.00
14	0.70	1.00	0.70	0.00	27.00	3.10	0.00	0.00
15	0.10	1.00	0.10	0.00	26.90	0.00	0.00	0.00
16	1.30	1.00	1.30	0.00	25.60	0.00	0.00	0.00
17	1.60	1.00	1.60	0.00	24.00	0.00	0.00	0.00
18	1.40	1.00	1.40	0.00	22.60	0.00	0.00	0.00
19	2.10	1.00	2.10	3.60	24.10	0.00	0.00	0.00
20	0.80	1.00	0.80	15.00	27.00	11.30	0.00	0.00
21	0.30	1.00	0.30	2.00	27.00	1.70	0.00	0.00
22	1.20	1.00	1.20	0.00	25.80	0.00	0.00	0.00
23	1.20	1.00	1.20	0.00	24.60	0.00	0.00	0.00
24	2.90	1.00	2.90	0.00	21.70	0.00	0.00	0.00
25	2.70	0.77	2.08	0.00	19.62	0.00	0.62	0.62
26	3.50	0.70	2.44	0.00	17.18	0.00	1.06	1.68
27	3.70	0.61	2.25	0.00	14.95	0.00	1.45	3.12
28	3.30	0.53	1.74	0.00	13.18	0.00	1.56	4.68
29	3.30	0.47	1.54	0.00	11.64	0.00	1.76	6.44
30	1.70	0.41	0.70	0.00	10.95	0.00	1.00	7.45

Taulukossa 5 esitetään maan kosteusvajaos prosentteina, ja se perustuu taulukoissa 3 ja 4 esitettyihin laskutoimituksiin. Vajauksen suuruus riippuu selvästi AW:n määrästä, salaojien sijaintisyvyydestä ja näin ollen myös vedenpinnan syvyydestä, jos se alenee salaojien syvyydelle tai tämän syvyyden

alapuolelle, sekä PRE:n määrästä, joka on kertynyt tietyn ajanjakson aikana.

Esimerkiksi salaojasyvyyden ollessa 0.60 m ja juurtumissyvyyden ollessa 0.40 m on maan kosteusvajaos huhtikuusta heinäkuuhun kestävän jakson aikana noin 40 % vuoden 1978 kokonaisvedentarpeesta; samassa

Taulukko 5 Maan kosteusvajaus (%), joka aiheutuu salaojien sijoittamisesta eri syvyyksille (2).

	Salaojien sijaintisyvyys (m)			
	0.60		1.20	
Juurtumissyvyys (m)	0.40	0.60	0.40	0.60
AW (mm)	99	161	27	50
1978				
Huhtikuu	0.01	0.00	1.67	0.50
Toukokuu	7.32	3.96	17.23	12.21
Kesäkuu	20.50	16.25	32.99	26.70
Heinäkuu	39.94	34.98	57.43	49.34
1976				
Huhtikuu	0.09	0.00	2.88	1.13
Toukokuu	0.58	0.00	8.70	3.18
Kesäkuu	9.70	4.83	20.95	14.49
Heinäkuu	15.75	10.39	32.88	22.60

HUOM! 1. Taulukossa esitetyt maan kosteusvajaukset ovat kumulatiivisia koko laskennallisen jakson aikana.

2. Maan kosteusvajaus on ilmoitettu prosentteina potentiaalisen evapotranspiraation kokonaisarvosta jaksolla huhtikuu - heinäkuu.

tilanteessa on maan kosteusvajaus noin 16 % 1976. Vastaavat arvot salaojasyvyydelle 1.20 m ovat 57 % (1978) ja 33 % (1976).

Kuviossa 5 esitetään käyrät kumulatiivisesta maan kosteusvajauksesta ajan suhteen erisuuruuksille AW-arvoille vuoden 1978 säätilatietojen perusteella Macdonaldin Campuksella. Alhaisin 27 mm suuruisen AW-arvo aiheuttaa johdonmukaisesti suuremman vajuksen kuin kolme muuta AW-arvoa. Vajasta esiintyy AW-arvon 27 mm kohdalla myöskin paljon aikaisemmin kuin maaperä-viljelyskasvitilanteissa, joissa AW-arvo on korkeampi. Maan kosteusvajauksen vaikutusten vakavuus riippuu myös viljelykasvin kehitysvaiheesta. Robins ja Domingo (1953) esimerkiksi havaitsivat erittäin merkittävän sadon pie-

nentymisen hienossa hiekkahuemaassa kasvatetun maissin kohdalla, kun käytettävissä oleva maa-vesi oli käytetty loppuun kolme viikkoa röhyn muodostumisen jälkeen. Viljan kypsymisen jälkeen käytettävissä olevan maaveden loppumisella ei kuitenkaan ollut minkäänlaista vaikutusta sadon suuruuteen. Kuvio 5 osoittaa maan kosteusvajauksen olevan lähes lineaarisessa suhteessa AW:n määrään vuoden 1978 sääolosuhteissa.

Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1. Hiekkamaan kuivuuden laajuus riippuu kuivatetusta huokostilavuudesta, maaperän

pysyvästä lakastumisrajasta, viljely kasvien juurtumissyvyydestä sekä sadannasta;

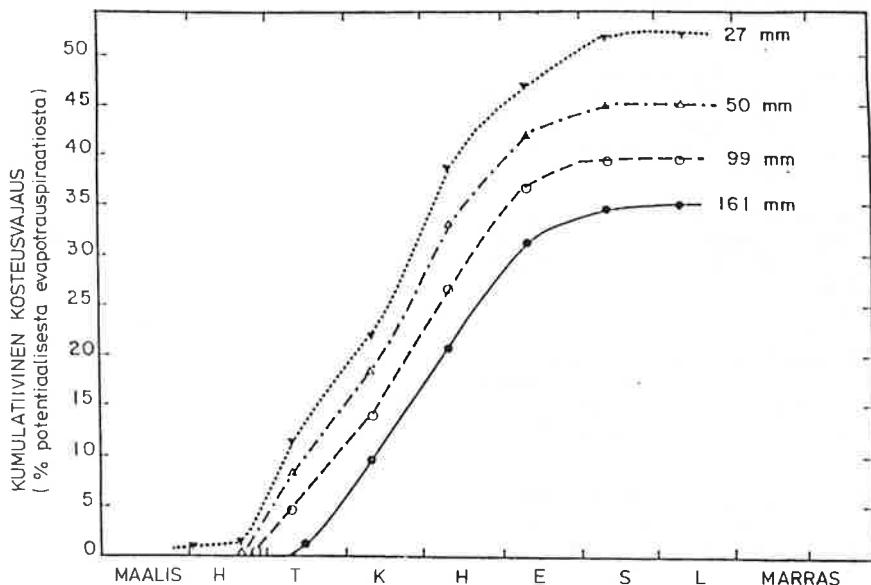
2. Salaojien syvyydellä on korostunut vaikutus hiekkamaan kuivatettuun (maan)tilavuuteen ja näin ollen myös käytettävissä olevaan maavesimäärään viljelykasvien juuri-
vyöhykkeessä;

3. Kosteusvajausta on kaikkina vuosina lineaarisessa suhteessa maan vedenpidättävyyskykyyn;

4. Hiekan karkeuden suhteellisen pieni kasvu saattaa aiheuttaa hyvin suuren kuivatettavissa olevan huokostilavuuden kasvun. Näin ollen on paljon parempi mitata kuivatettavissa oleva huokostilavuus kuin hiukkaskokojakauma, jos halutaan määrittää todennäköisyys hiekkamaan liialliseen kuivattamiseen syvemmälle kuin 600 mm syvyyteen sijoitet-
tujen salaojien vaikutuksesta.

Yhteenveto

Kanadassa Ontariossa ja Quebecissä sijaitse-
vilta hiekkapelloilta otettiin maanäytteitä. Näytteiden kosteuden pidättävyudet ja kuiva-
tettavissa olevat huokostilavuudet määritettiin hiekkaimupöydän avulla. Kuivatettavissa olevan huokostilavuuden käyriä käytettiin yhdessä mahdollisten salaojasyvyysk-
sien kanssa käytettävissä olevan maaveden määrän laskemiseen viljelykasvien juurtumissy-
vyyden ollessa 0.40 m ja 0.60 m. Erisuuruis-
ten käytettävissä olevan veden määrien koh-
dalla vuosien 1976 ja 1978 sääolosuhteissa ilmenevän kuivuuden laajuus määritettiin käyttämällä vesitaseen mallia. Viljelykasvien juurivyöhykkeessä olevan käytettävissä ole-
van veden määrän ja sen syvyyden, jolle vedenpinta voitiin salaojituksen avulla alen-
taa, havaittiin vaikuttavan merkittävästi kui-
vuuden laajuuteen. Kuivatettavissa olevan huokostilavuuden havaittiin olevan tärkein tekijä määritettäessä sitä, kuivuuko hiekk-



Kuvio 5 Maan kumulatiivinen kosteusvajausta.

maa liikaa salaojien vaikutuksesta. Maan kosteusvajauksen havaittiin olevan lähes lineaarisessa suhteessa siihen käytettävissä olevan maaveden määrään, jonka maa voi pidättää.

Kiitokset

Kirjoittajat kiittävät seuraavia tahoja taloudellisesta tuesta: Conseil de Recherches et Services Agricoles du Quebec sekä Canadian Commonwealth Scholarship Committee of the Association of Universities and Colleges of Canada.

Kirjoittajat ilmaisevat kiitoksensa myös herroille Charbonneau, McRae ja Valois heidän antamastaan avusta työskenneltäessä heidän tiloillaan.

Lähteet

1. **Baier, W. and G.W. Robertson.** 1965. Estimation of latent evaporation from simple weather observations. *Can. J. Plant Sci.* 45: 276-284.
2. **Chieng, S.T., R.S. Broughton and N. Foroud.** 1978. Drainage rates and water table depths. *Jour. Irr. and Drain. Div. ASCE, Vol. 104. Proc. Paper 14260, Dec.* pp 413-443.
3. **Foroud, N. and R.S. Broughton.** 1978. Effects of different drainage rates on the duration of high water tables in south-western Quebec. *Can. Agric. Eng.* 20: 71-75.
4. **Gardner, W.R.** 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Sci.* 85: 228-232.
5. **Grable, A.R. and E.G. Selmer.** 1968. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 180-186.
6. **Jutras, P.J.,** 1967. Extent of agricultural drainage needs in Quebec. *Can. Agric. Eng.* 9(1): 117-125.
7. **Lembke, W.D., M.D. Thorne.** 1980. Nitrogen leaching and irrigated corn production with organic and inorganic fertilizers on sandy soil. *Transactions of the ASAE; September-October:* 1153-1156.
8. **Rashid-Noah, A.B.** 1981. Designing sub-surface drainage systems to avoid excessive drainage of sands. Ph.D. Thesis. McGill University, Montreal, Quebec, Canada.
9. **Robins, J.S. and C.E. Domingo.** 1953. Some effects of soil moisture deficits on specific growth stages of corn. *Agronomy Journal* 45(12): 618-621.
10. **Russelo, D., S. Edey and J. Godfred.** 1974. Selected tables and conversions used in agrometeorology and related fields. Publication No. 1522, Canadian Department of Agriculture, Ottawa. 275 pp.
11. **Skaggs, R.W.** 1978. A water management model for shallow water table soils. *Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, Raleigh, N.C. Report No. 134.* 178 pp.
12. **Wesseling, J.** 1974. Crop growth in wet soils. In: **Jan van Schilfgaarde (ed.) Drainage for Agriculture.** American Society of Agronomy, Madison, Wis. *Agronomy* 17:7-34.

Kenttäkäyttöiset raudanmääritysmenetelmät salaojien rautatukkeutumisherkkyden arvioinnissa

Professori Jussi Hooli, Oulun yliopisto, Vesiteknikan laboratorio

Pohjanmaan salaojitetut pellot herkkiä rautatukkeutumille

Runsaasti rautaa sisältävillä Pohjanlahden rannikkoalueilla rautasaostumat aiheuttavat salaojaputkien tukkeutumista. Näillä mailla rauta on peräisin rautasulfidisedimentin hapettumisesta, jolloin maanesteeseen vapautuu runsaasti kaksiarvoista ferrorautaa, Fe_{2+} . Salaojitus itsessään saa aikaan sulfidisedimentin hapettumisen, kun kuivavara lisääntyy pellolla. Rautasulfidi hapettuu ilmakehän hapen vaikutuksesta kemiallisesti ferroraudaksi ja alkuainerikiksi. Ferrorauta on okran eli rautasaostuman raakamateriaali. Ferrorautaa hapettavista bakteereista tunnetuin on Thiobacillus ferro-oxidans. Se hapettaa ferroraudan ferrimuotoon (Fe_{3+}). Ferrirauta ja jossain tapauksessa ferrorauta muodostavat rautasaostuman rihmamaisen bakteerikasvuston. Yleisemmin rautabakteerit vaativat kasvaakseen happea. Muutamien lajien kasvu on rajoittunut hapettuneen ja pelkistyneen vesikerroksen rajalle, jossa on riittävän happamat olosuhteet bakteerien kasvuille. Kaikissa bakteerien kasvutapauksissa ne kasvurihmastoillaan tukkivat salaojaputket ja tukkeuman poistaminen putkista on vaikeaa.

Ferrirauta voi saostua myös kemiallisesti rautahydroksidina ja tyykkä salaojaputkia. Tällaisen rautasakan poisto putkista on paljon helpompaa kuin bakteerikasvuston aiheuttaman rautatukkeuman poisto (Ford, H. W. 1982 a ja b)

Okranmuodostukseen vaikuttavat maan happamuuden, maalajin, lämpötilan ja redox-olosuhteiden ohella myös rautapitoisuus. Salaojaputkien rautatukkeutumisherkkyden ennakkointiin käytetään yleisimmin rautapitoisuuden määrittämistä pohjavedestä tai maan huokosvedestä. Sekä ferroraudan että kokonaisraudan määrittämiseen on olemassa

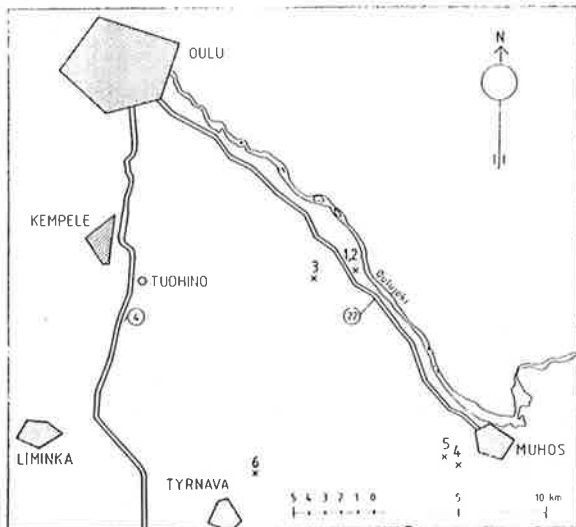
lukuisia kaupallisia kenttäkäyttöisiä määrittäysmenetelmiä. Tässä Oulun yliopiston vesiteknikan laboratoriossa tehdyssä tutkimuksessa on pyritty vertailemaan Suomessa yleisemmin käytettyjen rautamääritysmenetelmien käyttökelpoisuutta erilaisilla mailla ja testaamaan niiden toistettavuutta kenttäolosuhteissa.

Raudankenttä määritysmenetelmiä testattu erilaisilla alueilla

Rautamääritysmenetelmien toistettavuutta testattiin Kempeleen kunnan Tuohinonon pohjavesipumppuasemalla. Toistettavuustesti tehtiin usealle henkilölle siten, että samaa testiä ei tehty kahta kertaa peräkkäin. Rinnakkaisten määritysten määrä oli 10.

Kokonaisraudan ja ferroraudan alueellista pitoisuusvaihtelua tutkittiin kuudessa eri peltopisteessä. Pelloille asennettiin pohjavesiputket 30 m:n päähän valtaojasta. Pohjavesiputket olivat halkaisijaltaan 25 mm:n PVC-putkia, joissa suodatinmateriaalina käytettiin ilmastusputkea (malli HPE-1H, valmistaja Oy Nokia Ab). Suodatinosa asennettiin pellon salaojitusvyöhytälle vastaavalle syvyydelle, avo-ojitetulla alueella 110 cm:n syvyyteen. Näytteitä otettiin pohjavesiputkista 8 kertaa kesien 1987 ja 1988 aikana käsin pumpattavalla tyhjiöpumpulla (Jencons H138/7.) Näytteenoton yhteydessä vesinäytteistä mitattiin pH ja redox sekä ferro- ja kokonaisrautapitoisuudet Hachin Ferro Ver-menetelmällä.

Kaksi peltotutkimuspistettä (Pisteet 1 ja 2) sijalsivat Muhoksen kunnassa Viskaalin koeviljelytilalla (kuva 1). Tutkittavan pellon pinta-ala oli 1,0 ha ja se oli salaojitettu vuonna 1971, salaojitussyvyys 120 cm. 0 - 70 cm pellon pinnasta oli turvetta, jonka alapuolella karkea hieta. Hydraulinen johtavuus oli 1,06



Kuva 1. Kenttäpisteiden sijainti. 1,2,3 = Viskaalin koetila, Muhos; 4,5 = Koivikon maatalousoppilaitos, Muhos; 6 = Härmän tila, Tyrnävä.

cm/h (60 cm syvyys).

Kolmas peltopiste (piste 3) sijaitsi samoin kuten edelliset Viskaalin koeviljelytilalla (kuva 1). Tämän pellon pinta-ala oli 2,6 ha ja se oli salaojitettu vuonna 1981, salaojitus­syvyys 110 cm. Maalaji oli 60 cm:iin turvetta, jonka jälkeen alkoi sulfidipitoinen hieno hietä. Hydrau­linen johtavuus oli 8,41 cm/h (60 cm syvyys).

Neljäs peltopiste (piste 4) sijaitsi Muhoksen kunnassa Koivikon maatalousoppilaitoksen pellolla (kuva 1), jonka pinta-ala oli 4,7 ha ja se oli salaojitettu vuonna 1980. Alueen sala­ojitus­syvyys oli 110 cm. Maalaji oli 80 cm:iin karkeata hietää, jonka alapuolella alkoi hiesusavi.

Viides peltopiste (piste 5) sijaitsi samoin kuin edellinen Koivikon maatalousoppilaitoksen pellolla (kuva 1). Pellon pinta-ala oli 3,2 ha. Alue oli avo-ojitettu. Maalaji oli 80 cm:iin karkeata hietää, jonka alapuolella alkoi hiesusavi. Hydrau­linen johtavuus oli 4,96 cm/h (60 cm syvyys).

Kuudes peltopiste (piste 6) sijaitsi Tyrnävän kunnassa Härmän tilalla, pinta-ala 5,7 ha, salaojitettu 1985, salaojitus­syvyys 110 cm (kuva 1). Maalaji oli 30 cm:iin karkeata hietää, jonka alapuolella alkoi hiesu. Hydrau­linen johtavuus oli 3,0 cm/h (60 cm syvyys).

Kokonaisraudan määrityksessä käytettiin Hachin, Lovibondin ja Merckin valmistamia määrityskittejä:

Hach Ferro Ver menetelmä perustui 1,10 -fenantroliniin ja ferroraudan reaktioon, jossa muodostuu kompleksiyhdiste, joka värjää liuoksen oranssinpunaiseksi. Liuoksessa oleva ferrirauta pelkistettiin ferro­raudaksi natriumbisulfaatin ja natriumhydrosulfaatin seokselä, joka on lisätty fenantroliniin sekaan. Liuoksen väri mitattiin komparaattorilla, jossa käytettiin värikiekkoja ja

1 - 10 mg/l. Niiden lukematar­kkuudet olivat vastaavasti 0,1 ja 0,2 mg/l. Mää­rityskitissä tarvittavat reagenssit on pakattu muovityynyyn. Tyynyn sisältö kaadetaan 5 ml:aan tutkittavaa näytettä, sekoitetaan ja syntyneen värin voimakkuus luetaan komparaattorin väri­kiekolta 5 minuutin kuluttua.

Lovibond Palintesti (Iron HR 51538) menetelmä perustui thioglykollaatin sekä ferro- ja ferriraudan muodostaman vaaleanpunaisen kompleksin syntymiseen alkaaliliuoksessa. Värin voimakkuus on verrannollinen raudan määrään tutkittavassa näytteessä. Värin voimakkuus mitattiin komparaattorilla, jossa väri­kiekon (3/117) asteikko oli 1 - 10 mg/l ja lukematar­kkuus 1,0 mg/l. Reagenssit olivat folioon pakatussa tablettissa. Värinmuodostus luettiin 15 minuutin kuluttua tabletin liukene­misestä.

Aquamerck 11136 menetelmä perustui ferro­raudan ja 2,2 -bipyridiinin reaktioon, jossa

muodostuu vaaleanpunainen pysyvä kompleksi. Ferrorauta pelkistetään askorbiinihaporeagenssilla. Määritys tapahtuu testipullossa, jonka molemmilla sivuilla on rautapitoisuutta osoittava väriskaala; vasemmalla puolen asteikko 0,1 - 2,5 mg/l ja oikealla puolen asteikko 5,0 - 50,0 mg/l. Asteikkotarkkuus pitoisuusvälillä 0,1 - 0,5 mg/l on 0,2 mg/l, pitoisuusvälillä 0,5 - 2,5 mg/l 0,5 mg/l, pitoisuusvälillä 2,5 - 7,5 mg/l 2,5 mg/l ja pitoisuusvälillä 7,5 - 12,5 mg/l 5,0 mg/l. Kun rautapitoisuus ylittää 12,5 mg/l asteikossa on luettavissa pitoisuudet 25,0 mg/l ja 50 mg/l. Reagenssit ovat liuksena kolmessa eri mittapullossa, joista kustakin pullostä otettiin 6 tippaa tutkittavaan 10 ml:n näytteesen. Värin voimakkuus mitattiin 10 minuutin jälkeen lisäyksestä.

Laboratoriomenetelmä perustui 1,10-fenantroliinin ja ferroraudan väliseen reaktioon pH-alueella 2,9 - 9,0, jolloin muodostuu oranssinpunainen kompleksi. Värin voimakkuus mitataan laboratoriossa spektrofotometriä käyttäen aallonpituudella 510 nm. Liuksessa oleva ferrirauta pelkistetään typpihapon ja hydroksyyliamiinin avulla (Standard Methods 1985).

Kaksiarvoisen raudan pitoisuus määritettiin

kolmella eri menetelmällä:

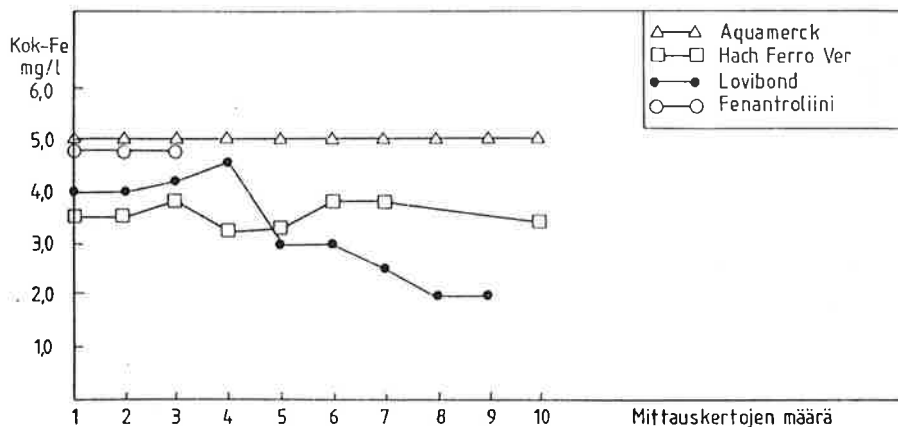
Hach Ferro (Fe₂) 1,10-fenantroliini määritysmenetelmä oli sama kuin Hachin kokonaisrautamäärityksessä, mutta ferrirautaa ei pelkistetä ferroraudaksi. Reagenssityyryn sisältö tyhjenetään 25 ml:aan tutkittavaa näytettä. Värin voimakkuus mitataan komparaattorilla 5 minuutin kuluttua reagenssin lisäämisestä.

Aquamerck 11136 määritysmenetelmä oli sama kuin kokonaisrautamääritys sillä erolla, että pelkistysreagenssi jätetään pois.

Laboratoriomenetelmä on sama kuin kokonaisraudan määrityksessä, mutta pelkistys typpihapolla ja hydroksyyliamiinilla jätetään pois (Standard Methods).

Menetelmien soveltuvuus ja toistettavuus

Hachin menetelmissä reagenssityyryt ovat käteviä käyttää. Reagenssien liukoisuus on hyvä ja värinmuodostus nopea. Komparaattori on kevyt ja pelkistetty ja on helppo kuljettaa mukana. Asteikkotarkkuus on riittävä. Lovibondin laitteessa käytettävä reagenssita-



Kuva 2. Kokonaisraudan määritystulokset Tuohinon pumppausaseman pohjavedestä.

bletti liukeni hitaasti. Tämän vuoksi tarvittiin lasisauvaa, jolla tabletti murskattiin liukene-
misen nopeuttamiseksi.

Merck-Aquamerck 11136 testirasia on helppo kuljettaa. Reagenssit ovat liuoksena pulloissa, joista on helppo annostella ne näytteen-
seen. Reaktio on liian hidas, jos tutkittavana on useita näytteitä. Tulos on suuntaa-antava;
asteikon lukematarkeus on liian pieni.

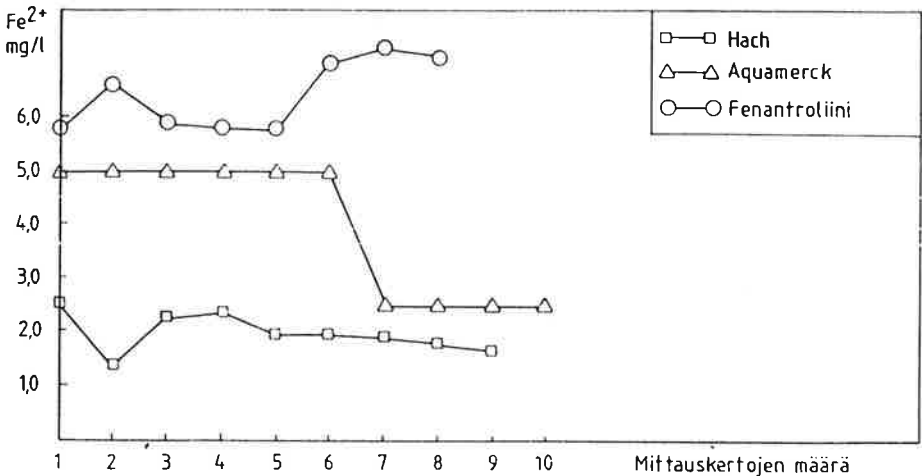
Fenantroliiniinireaktioon perustuva laborato-
riomenetelmä antoi Kempeleen Tuohinon
pumppuaseman pohjavedelle kokonaisrauta-
pitoisuuden 4,9 mg/l. Aquamerck antoi tois-
tettavimman tuloksen (ei vaihtelua), koska
herkkyys oli huono. Sen sijaan Hachin Ferro
Verin vaihtelualue 3,8 - 4,9 mg/l oli huomattavasti
pienempi kuin Lovibondin vaihtelua-
alue 2 - 4 mg/l. Lovibondin mittaustuloksissa
oli selvästi havaittavissa pitoisuuden pienen-
eminen toistokertojen kasvaessa.

Fenantroliiniin perustuva kaksiarvoisen raudan
määritysmenetelmä antoi Tuohinon
pumppuaseman pohjavedelle pitoisuus-
keskiarvon 6,4 mg/l. Aquamerck antoi keski-
arvon 4,0 mg/l ja Hach keskiarvon 2,0

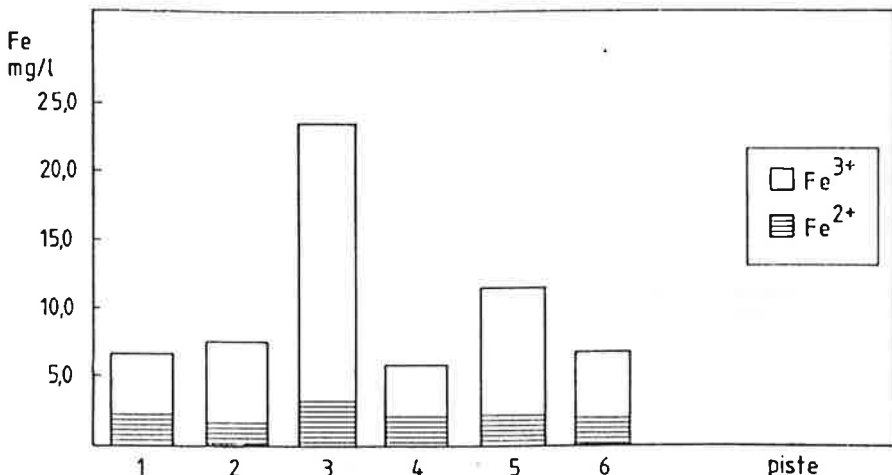
mg/l. Aquamerckin vaihteluväli oli suurin
(2,5 - 5,0 mg/l) (kuva 3). Tämä johtuu sen
huonosta herkkyydestä, jolloin pieni värieron
tulkinta voi aiheuttaa suuren pitoisuuseron.
Hachin fenantroliiniin perustuva määritys-
menetelmä antoi noin 40 % pienemmän
tuloksen kuin laboratoriossa tehty fenantroliini-
määritysmenetelmä, sitävästoin Hachin
toistettavuus oli hyvä (vaihteluväli 1,4 - 2,5
mg/l).

Tulokset osoittavat, että tutkituista kenttä-
käyttöisistä raudan määritysmenetelmistä
Hachin menetelmä oli toistettavin. Kokonais-
raudan osalta menetelmä antaa pitoisuusalueella
5 mg/l noin 20 % pienemmän tuloksen
kuin laboratoriomenetelmä, ferroraudan
määrityksen osalta tulos on jopa 40 %
pienempi kuin laboratoriomenetelmässä.
Aquamerck on liian epäherkkä ja näin ei
sovellu tarkoitukseen.

Pelto tutkimuspisteissä saatuja mittaustulok-
sia on voitu käyttää raudan eri hapettumis-
muotojen pitoisuusarvojen vertailuun. Tällöin
kokonaisrautapitoisuudet ovat vaihdelleet eri
tutkimuspisteissä suuresti. Sen sijaan kak-
siarvoisen raudan pitoisuudet olivat kaikissa



Kuva 3. Kaksiarvoisen raudan määritystulokset Tuohinon pumppuaseman pohjavedestä.



Kuva 4. Keskimääräiset kokonaisraudan ja kaksiarvoisen raudan pitoisuudet tutkittavien peltopisteiden pohjavesiputkissa kesien 1987 - 1988 aikana.

pisteissä lähes yhtä suuret eli noin 2 mg/l (kuva 4). Tämä osoittaa, että ferroraudan pitoisuus salaojavesissä pysyy suhteellisen vakiona, kun taas kokonaisrautapitoisuuden vaihtelu on ferriraudan pitoisuusvaihtelua. Tästä voidaan päätellä, että kokonaisraudan määräitys näyttäisi olevan käyttökelpoisempi kuin ferroraudan määräitys salaojien tukkeutumisherkkyttä arvioitaessa.

Kokonaisrautapitoisuudet vaihtelevat alueellisesti

Keskimääräiset kokonaisrautapitoisuudet vaihtelivat tutkittujen peltopisteiden salaojavesissä välillä 5,2...24 mg/l. Kaikkien tutkittujen salaojavesien pH oli lähellä neutraalia ja keskimääräinen redoxpotentiaali vaihteli -118...+65 mV:n välillä (taulukko 1, kuva 4). Alhaisin kokonaisrautapitoisuus (5,2mg/l) oli pisteessä 4, joka sijaitsi Koivikon maatalousoppilaitoksen pellolla. Pellon pintakerros oli karkeata hietaa. Korkein pitoisuus (24 mg/l) oli peltopisteessä 3, Viskaalin koetila, jota peitti 60 cm:n turvekerrostuma ja jonka alla oli sulfidipitoinen savi. Tämän pellon sala-

ojastossa on todettu toimintahäiriöitä. Toiseksi suurin kokonaisrautapitoisuus (12 mg/l) oli pisteessä 5, joka sijaitsi Koivikon maatalousoppilaitoksen avo-ojitetulla pellolla. Viskaalin pellolla sijaitsevien rinnakkaispisteiden 1 ja 2 pitoisuudet eivät poikenneet toisistaan merkittävästi (kuva 4).

Kokonaisrautapitoisuus luotettavampi mittari rautasaostumaherkkyydelle kuin ferrorautapitoisuus

Testattavistakenttäkäyttöisistä rautamääritysmenetelmistä Hachin Ferro Ver osoittautui määrittysten toistettavuuden, herkkyyden ja käyttöominaisuuksien perusteella kaikkein parhaimmaksi menetelmäksi. Kokonaisrautaa määritettäessä menetelmä antaa noin 20 % pienemmän pitoisuuden kuin laboratoriomenetelmä. Kaksiarvoista rautaa määritettäessä kenttäkäyttöisen menetelmän antama tulos on jopa 40 % pienempi kuin laboratoriomenetelmän antama tulos. Pitoisuuspoikkeamat on otettava huomioon, silloin kuin

	Piste/alue	Fe ²⁺ mg/l	Kok-Fe mg/l	pH	Redoxpotentiaali mV
1	Viskaalin koetila	1,9 (1,0-3,5)	6,6 (1,3-6,0)	6,9 (6,6-7,2)	-28 (146...-276)
2	---	1,6 (0,3-3,5)	7,3 (1,0-15)	7,1 (6,8-7,4)	-32 (55...-276)
3	---	2,6 (0,7-8,0)	24 (3,0-32)	6,3 (6,0-6,5)	+65 (142...-236)
4	Koivikon maatalousoppilaitos	1,8 (0,9-4,0)	5,2 (2,0-10)	6,3 (5,7-6,7)	+65 (176...-42)
5	---	1,9 (0,5-2,5)	12 (1,5-20)	6,4 (6,2-6,7)	-4 (18...-93)
6	Härmän tila	1,8 (1,0-2,5)	6,0 (3,5-10)	6,5 (5,8-7,1)	-118 (178...-247)

Taulukko 1. Tutkittavien peltojen salaojavesien keskimääräiset ferro- ja kokonaisrautapitoisuudet ja pH- ja redox-arvot. Suluissa on esitetty näiden vaihtelurajat.

kenttä- ja laboratoriomäärittystuloksia arvioidaan rinnakkain.

Pohjaveden rautapitoisuusmäärittelyllä voidaan saada ennakoarvio mahdollisesta salaojaputken tukkeutumisherkyydestä salaojitetulla pellolla. Pitoisuustieto ei kuitenkaan ole arvioinnissa yksiselitteinen, vaan rautatukkeuman muodostumiseen vaikuttavat myös maaprofiilin maalaji, pH, redoxolosuhteiden muutokset, lämpötila ja salaojituksen toteuttamistapa. Tämän tutkimuksen tulokset osoittivat, että pohjavesiputkista otetun pohjaveden ferrorautapitoisuus on suhteellisen vakio pellostä riippumatta. Sen sijaan kokonaisrautapitoisuuksissa on havaittavissa suuria vaihteluita. Täten näyttäisi siltä, että kokonaisraudan määrittäminen olisi parempi mitta pellon rautatukkeutumisherkyyden ennakoinnissa kuin ferrorautapitoisuus. Kokonaisrautamäärittelyksen käyttöä puolustaa myös se, että tällöin näyteenotossa näytteen hapettumisesta johtuvia virhelähteitä ei synny, kun taas ferrorautamäärittelyksen yhteydessä osa raudasta voi hapettua ja määrittäminen antaa virheellisen tuloksen.

Lähdeluettelo

Schnelltest Handbuch, Merck 1986. pp. 100 - 115.

Colorimetric Chemical Analysis Methods, Apparatus & Regents. Lovibond. 1985. pp. 30.

Vesianalyysikäsikirja, Hach (1983/84). Colorado, USA. pp. 214

Ford, H.W. (1982 a) Estimating the Potential for Ochre Clogging Before Installing Drains. Transactions of the ASAE 25:6.

Ford, H.W. (1982 b), Soil Conditions that Promote Iron Reduction and Subsequent Ochre Clogging in Agricultural Drains, Water and Soil Management. pp. 99 - 105.

Freeze, R.A. & Cherry, J.A. (1979), Groundwater, New York, pp. 114 - 126.

Hooli, J. & Aitto-oja, A. & Palko J. (1989). Vesinäyteen rautapitoisuuden mittaussuomen kehittämisen kenttäolosuhteisiin salaojituksen rautasaostumien ennakkointia varten. Oulun yliopisto, vesitekniikan laboratorio, Tutkimusraportti 15.12.1989. 15 s.

Kuntze, H. (1982), Iron Clogging in Soils and Pipes Analysis and Treatment. DVWK Bulletin 10.

Peltomaa R.S. & Veijalainen V.K. (1986). Ochre and Subsurface Drainage in Finland, American Society of Agricultural Engineers. Paper no 86 - 2051, St. Joseph, M1 USA.

Stumm, W. & Lee, G.F. (1960). The Chemistry of Aqueous Iron. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie vol 22: 295 -319.

Okran muodostumisen mahdollisuuksien määrittäminen alluviaalimailla

Maatalousrakennusinsinööri Cade E. Carter,
maatalousrakennusinsinööri J.S. Rogers ja
maatalousrakennusinsinööri J.L. Fouss,

USDA Agricultural Research Service, Soil and Water Research Unit,
Baton Rouge, Louisiana, USA*

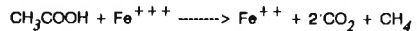
Monimutkainen prosessi

Salaojitusjärjestelmien suunnittelu koskee pääasiassa salaojien sijaintisyvyyttä ja ojavälin suuruutta sekä sitä, tarvitaanko ympärystämateriaalia vai ei. Eräs erittäin tärkeä harkinnanalainen asia on se, voiko salaojiin muodostua rautaokraa, ja tukkiiko se salaojat. Jos okraasta mahdollisesti tulee aiheutumaan ongelmia, on ratkaisu sisällytettävä suunnitelmaan. Näin ollen insinöörien tulisi määrittää mahdollisuudet okran muodostumiselle ja suositella sopivia torjuntakeinoja kerätessään tietoja salaojitus- ja kastelujärjestelmien suunnittelua varten.

Fordin (1982) mukaan okra on hyytelömäistä saostumaa, joka sisältää bakteerilliaan yhdistynyttä rautaa, ja jonka väri vaihtelee punaisesta kullanuskeaan. Rautaokran muodostuminen on monimutkainen prosessi, jonka yksityiskohtainen kuvaileminen ei ole mahdollista tässä esitelmässä. Yksinkertaisesti sanottuna rautaokran muodostuminen vaatii aerobisia olosuhteita sekä kolmea aineosaa: 1) ferrorautaa (Fe^{++}), 2) bakteereita kuten leptothrix, toxothrix, gallionella tai sphaerotilus sekä 3) hiiltä tai energialähdettä. Monissa maaperissä ovat jo valmiina bakteerit, hiili ja aerobiset olosuhteet; näin ollen kaikki mitä okran muodostumiseen tarvitaan, on riittävä määrä Fe^{++} . Koska Fe^{++} on tärkein muuttuja, sitä usein pide-

tään okran muodostuksen kannalta rajoittavana raaka-aineena.

Rautaa löydetään useimmista maaperistä, mutta ei aina ferroraudan muodossa. Tutkittaessa okran muodostumisen mahdollisuuksia maaperässä, olisi suotavaa testata sekä kokonaisrauta että ferrorautapitoisuudet. Maaperä, jonka kokonaisrautatestin tulos on positiivinen mutta ferrorautatestin tulos negatiivinen, saattaa silti olla alttiina okran muodostumiselle, koska tulviminen (vesi) saattaa saada raudan muuttamaan muotoaan. Ferroraudan (Fe^{+++}) pelkistymisen ferroraudaksi (Fe^{++}) otaksutaan olevan seurausta mikroorganismien hengityksestä ja aineenvaihdunnasta (Takai ja Kamura, 1966). Anaerobisissa olosuhteissa tätä tapahtuu heikosti kuivuvassa maaperässä. Pelkistymistä voidaan kuvata seuraavan yhtälön avulla:



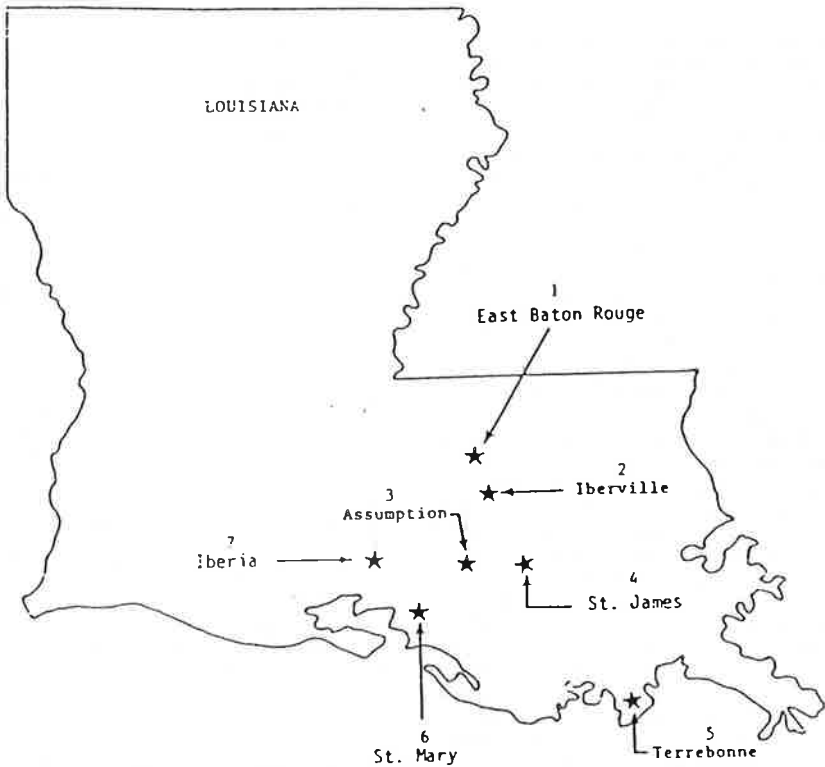
Useissa Louisianaan 1970-luvun aikana rakennetuissa kokeellisissa salaojitusjärjestelmissä okraa muodostui nopeasti joidenkin salaojajärjestelmien laskuaukkoihin, ja toisiin taas ei. Kiinnostus siitä, miksi joihinkin salaojitusjärjestelmiin muodostui okraa ja toisiin ei, johti nopeasti Fe-tutkimukseen näillä alueille. Olimme erityisen kiinnostuneita muodostamaan kriteereitä, joiden avulla voitiin määrittää, missä maalajeissa okran muodos-

* Tutkimusta ovat avustaneet Soil Water Research Unit, USDA-Ars, Baton Rouge, Louisiana ja Louisiana State University, Louisiana Agricultural Experiment Station, Agricultural Center, Baton Rouge, Louisiana.

tuminen oli todennäköistä. Tulevaisuudessa voidaan näihin maalajeihin kiinnittää erityistä huomiota suunniteltaessa salaojitusjärjestelmiä. Näin ollen tämän tutkimuksen tarkoituksena oli: 1) määrittää raudan ja ferroraudan olemassaolo yhdeksällä salaojitetulla alueella Louisianassa, jotta voitaisiin päätellä, olisiko voitu ennustaa okran muodostumisen mahdollisuus ennen salaojien rakentamista sekä 2) määrittellä raudan olemassaolon maaperässä ja/tai okran olemassaolon laskuaukoissa yhteys eri maalajeihin, jotta voitaisiin määrittellä, missä maalajeissa okran muodostuminen on todennäköisempää kuin muissa.

Menetelmä

Tähän tutkimukseen valittiin seitsemän kuntaa, jotka sijaitsevat eteläisessä Louisianassa. Nämä valittiin erityisesti sen takia, että jokaisessa kunnassa oli salaojitusjärjestelmiä, joista okran muodostuminen, jos sitä oli tapahtunut, voitiin observoida salaojien laskuaukoista. Summittaiset sijainnit on esitetty taulukossa 1, ja alueet on nimetty kunnan nimellä sekä numerolla yhdestä seitsemään. Kahdeksassa kunnassa, nimittäin Iberville'ssä ja Terrebonnessa, rakennettiin kaksi järjestelmää eri maalajeihin. Joitkin alemmasta Mississippin laaksosta löydettävistä tärkeimmis-



Kuvio 1 Näyttelädenottoalueiden ja salaojitettujen alueiden sijainti Louisianassa, USA:ssa.

tä maalajeista kuten Commerce, Sharkey, Mhoon, Baldwin ja Jeanerette ovat edustettui-
na näissä kunnissa.

Tässä tutkimuksessa käytettiin vesinäytteiden Fe-konsentraation määrittämiseen Fordin (1982) kehittämää testaussarjaa, joka käsitti Hachin kokonaisen Fe-testivälineistön. Testivälineistöön kuului pieni muovinen astia vesinäytteiden keräämistä varten, 47 mm Swinnex-suodatinpidin, suodattimia (0.45 μm), ruiskuja vesinäytteiden käsittelyä varten, sulfamichappo-phenantrolene-reagenssia suodattimen käsittelyä varten sekä värikartta ja astia näytteen värin määrittelyä varten, jotta saataisiin aikaan arvio Fe^{2+} - ja kokonaisrautapitoisuudesta.

Välineistön kyky määrittää rautakonsentraatit määritettiin laboratoriossa sekoittamalla 5 mg/l Fe^{2+} -liuos ja käsittelemällä näytettä aivan kuin se olisi pellosta otettu näyte. Näytteen väri sopi 5 mg/l -konsentraation väriin värikartalla täydellisesti. Myös tislattua vettä sisältävä näyte käsiteltiin aivan kuin se olisi ollut pellosta otettu näyte, ja tulos osoitti, että vedessä ei ollut ferrorautaa. Koska välineistön avulla saatiin tulokseksi näitä kahta ääriarvoa vastaavat rautapitoisuudet, oletettiin, että sen avulla saataisiin tulokseksi näiden kahden ääriarvon välillä olevia arvoja vastaavat oikeat pitoisuudet.

Jokaisella tutkimusalueella suoritettiin seuraavat toimenpiteet: 1) maahan porattiin halkaisijaltaan 70 mm suuruinen reikä, joka ulottui juuri vedenpinnan alapuolelle, 2) jokaisesta reiästä otettiin vesinäyte riiputtamalla pientä muovista näytteenkeräysastiaa nuoran päässä ja laskemalla se veteen, 3) vesinäyte otettiin astiasta ruiskun avulla ja se pakotettiin sulfamic happo-phenanthroline-reagenssilla käsitellyn mikrohuokosia sisältävän suodattimen läpi toiseen ruiskuun ferrorautatestiä varten, 4) sen jälkeen kun näytteen väri oli tasaantunut, näyte asetettiin värikuutioon, jossa sen väri sovitettiin yhteen viidestä värinäytteestä värikartalla. Jokainen värinäyte edusti rautakonsentraatiota yhdestä viiteen mg/l, ja 6) värikartan osoittama rautakonsentraatio kirjattiin muodossa mg/l.

Samasta relästä otettiin toinenkin näyte, joka suodatettiin käsittelemättömän 0.45 μm mikrohuokosia sisältävän suodattimen läpi, minkä jälkeen se asetettiin värikuutioastiaan, jossa oli Hach-testivälineistön mukana tullutta FerroVer-rautareagenssia. Kun näyte oli sekoitettu reagenssiin ja sen väri oli kehittynyt täydellisesti, määritettiin raudan kokonaiskonsentraatio vertaamalla näytteen väriä värikuutioon värinäytteisiin. Tulokset kirjattiin muodossa kokonaisraudan määrä milligrammoina litraa kohti.

Tässä tutkimuksessa pidettiin kokonaisrautatestin positiivista tulosta osoituksena siitä, että okran muodostuminen oli mahdollista, kun taas ferroraudan olemassaolo ilmaisi okran muodostumisen olevan todennäköistä. Fordilta saatuja luokituksia käytettiin okraongelman vakavuuden määrittämisen seuraavasti: okranmuodostumisen mahdollisuutta pidettiin vähäisenä, kun ferrorautatestin tulos osoitti vaaleanpunaista väriä, mutta ferrorautapitoisuus silti oli alle 1 mg/l värikuutioon mukaan. Okran muodostumisen mahdollisuutta pidettiin vakavana, jos värikuutiosta pystyttiin lukemaan 3 mg/l tai sitä suurempi arvo.

Maalajeihin, joihin oli rakennettu salaojitusjärjestelmät, kairattiin kolme reikää lisää (näytteitä otettiin siis kuusi) tai useampia reikiä jokaisella tutkimusalueella. Ylimääräiset reiät kairattiin, ja vesinäytteet otettiin ja testattiin jokaisesta tutkimusalueen maalajista, jotta voitiin päätellä, korreloiko raudan olemassaolo ja okran muodostumisen potentiaali maalajin kanssa.

Maalajeja koskevat fysikaaliset tiedot kaikilta alueilta saatiin USDA-SCS:n maaperätutkimusjulkaisuista tai SCS:n henkilökuunnalta. Näiden tietojen avulla yritettiin päätellä, voitaisiinko määrittellä trendejä, joiden mukaan okran muodostuminen saattaisi olla ongelma joillakin alueilla.

Tulokset ja pohdiskelua

Fordin (1982) kehittämä ferrorautatestivälineistö ja Hachin kokonaisrautatestivälineistö

Alue (No.)	Sijainti (Kunta)	Maan tekstuuri	Maalajin nimi	Reiän syvyys (cm)	Fe ++ (g/ml)	Fe-pitois. Kokonais (g/ml)	Okraa? (havainnot)
1A	EBR	hiue	Commerce	91	<1	1	kyllä
1B	EBR	hiue	Commerce	140	<1	1	Kyllä
1C	EBR	Hiue	Commerce	107	<1	1	Kyllä
1D	EBR	hsh	Mhoon	160	1	2	a
1E	EBR	hsh	Mhoon	160	0	1	a
1F	EBR	hsh	Mhoon	183	0	<1	a
1G	EBR	savi	T-S	162	0	0	a
1H	EBR	savi	T-S	91	1	2	a
1I	EBR	savi	T-S	173	<1	1	a
2A	Iberville	savi	Sharkey	165	0	0	ei
2B	Iberville	savi	Sharkey	173	0	1	ei
2C	Iberville	savi	Sharkey	183	0	0	ei
2D	Iberville	hsh	Mhoon	163	0	0	a
2E	Iberville	hsh	Mhoon	168	0	0	a
2F	Iberville	hsh	Mhoon	173	0	0	a
2G	Iberville	hsh	Commerce	91	0	0	a
2H	Iberville	hsh	Commerce	140	0	<1	a
2I	Iberville	hsh	Commerce	107	<1	1	a
2J	Iberville	hiue	Convent	151	0	0	ei
2K	Iberville	hiue	Convent	160	0	0	ei
2L	Iberville	hiue	Convent	155	0	0	ei
3A	Assumption	hh	Commerce	184	0	1	kyllä
3B	Assumption	hh	Commerce	166	0	3	kyllä
3C	Assumption	hh	Commerce	213	<1	3	kyllä
4A	St. James	hh	Commerce	173	0	1	kyllä
4B	St. James	hh	Commerce	165	0	0	kyllä
4C	St. James	hh	Commerce	165	0	0	kyllä
4D	St. James	savi	Tunica	145	<1	1	a
4E	St. James	savi	Tunica	144	<1	1	a
4F	St. James	savi	Tunica	142	1	2	a
5A	Terrebonne	hh	Commerce	173	3	3	kyllä
5B	Terrebonne	hh	Commerce	122	1	2	kyllä
5C	Terrebonne	hh	Commerce	127	0	1	kyllä
5D	Terrebonne	hsh	Commerce	120	5	>5	kyllä
5E	Terrebonne	hsh	Commerce	125	2	4	kyllä
5F	Terrebonne	hsh	Commerce	130	3	4	kyllä
5G	Terrebonne	hsh	Mhoon	120	2	3	kyllä
5H	Terrebonne	hsh	Mhoon	125	2	3	kyllä
5I	Terrebonne	hsh	Mhoon	130	<1	1	kyllä
6A	St. Mary	hs	Baldwin	131	0	<1	ei
6B	St. Mary	hs	Baldwin	122	0	<1	ei
6C	St. Mary	hs	Baldwin	165	0	0	ei
6D	St. Mary	hs	Baldwin	213	3	>5	ei
6E	St. Mary	hs	Baldwin	218	3	>5	ei
6F	St. Mary	hs	Baldwin	202	0	1	ei
7A	Iberia	hsh	Jeanerette	142	0	0	ei
7B	Iberia	hsh	Jeanerette	130	0	0	ei
7C	Iberia	hsh	Jeanerette	142	0	0	ei

Taulukko 1 Näytteludenottoalueet, maalajit, näytteliden ottosyvyydet, rautakonsentraatiot sekä okraa koskevat havainnot.

näyttivät toimivan tyydyttävästi. Oli kuitenkin joitakin tapauksia, joissa tulokset olivat jotenkakin sekavia. Jokaisessa tapauksessa suodatin ei poistanut vedestä kaikkea lietteä, ja näiden testien tulokset osoittivat suhteellisen korkeita rautapitoisuuksia. Jos näytteenottoa kuitenkin lykättiin, jotta osa lietteestä ehtisi laskeutua ennen testiä suorittamista, oli rautakonsentraatio huomattavasti alhaisempi. Näin ollen ei tiedetty, oliko alempi rautakonsentraation arvo oikea, vai oliko näyte ehtinyt hapettua näytteenotossa tapahtuneen vilpeen aikana.

Fe^{++} :aa mitattiin vesinäytteistä viidellä yhdeksästä salaojitetusta alueesta (taulukko 1). Okraa havaittiin salaojien laskuaukkojen kohdalla viidellä yhdeksästä alueesta. Kahta poikkeusta lukuun ottamatta löydettiin okraa niiltä alueilta, joilta löydettiin myös ferrorautaa. Nämä kaksi poikkeusta olivat Commerce-alue St. Jamesin kunnassa, jossa ei mitattu ferrorautaa mutta havaittiin huomattavia määriä okraa, sekä Baldwin-alue St. Maryn kunnassa, jossa testit näyttivät maassa olevan rautaa, mutta salaojiin ei muodostunut okraa.

Alue, jonka rautapitoisuus oli korkein ja okranmuodostuminen voimakkainta salaojien laskuaukoissa, oli Commerce-hiesu-huomaa Terrebonnen kunnassa. Sellaisten jaksojen aikana, jolloin satoi vähän tai ei ollenkaan, väheni salaojista virtaavan veden määrä ja okraa muodostui salaojien laskuaukkoihin. Vaikka okraa muodostuikin, eivät salaojat koskaan tukkeutuneet. Joskus okra saattoi täyttää puolet 200 mm läpimittaisesta salaojaputkesta. Ennenkuin okra täytti koko putken, tuli kuitenkin sadetta, joka lisäsi salaojavirtaamaa, jolloin suurin osa okrasta huuhtoutui pois. Tämän alueen Tymar-suodatin-kankaalla ympäröidyt salaojat ovat toimineet tyydyttävästi siitä lähtien kun ne rakennettiin vuonna 1977. Kaivon tulevan laskuveden poistoon käytettävän pumpun putkistossa ja venttiileissä on kuitenkin ilmennyt ongelmia. Muoviputkiin on kerääntynyt punaisen-kullanruskean väristä materiaalia, joka on samanlaista kuin okra, mutta ilman ilmaa. Seitsemän vuoden jälkeen tämä kerääntyminen

oli jo niin voimakasta, että putkisto oli vaihdettava. Muoviputkiin kertynyt materiaali oli mahdollista poistaa mekaanisesti, mutta L-kappaleisiin ja muihin mutkiin kertyneen materiaalin poistaminen oli erityisen vaikeaa.

Korkeita rautakonsentraatioita havaittiin myös Mhoon-hiesusavihiue-maaperässä, joka myös sijaitsi Terrebonnen kunnassa 8 km Commerce-alueelta etelään (taulukko 1). Jotkut tämän alueen salaojista oli ympäröity nylon-suodatinmateriaalilla, kun taas joissakin ei käytetty lainkaan ympärysalneta. Kummassakin tapauksessa okraa muodostui nopeasti salaojien laskuaukkoon, ja se peitti kaivon, pumpun ja putkiston pinnat. Tämä salaojitusjärjestelmä rakennettiin vuonna 1972, mutta se hylättiin vuonna 1976, jolloin maa vaihtoi omistajaa. Vuonna 1976 kaivettiin esiin useita salaojia, ja tutkittiin oliko niihin muodostunut okraa. Putkiin havaittiin muodostuneen jonkin verran punertavaa ja mustaa limamaista ainetta, mutta näiden aineiden kerääntyminen oli rajoittunut pääasiassa aallotetun muoviputken uriin. Voimakkaiden sateiden aikana salaojajärjestelmän huuhelivat normaalia runsaammat salaojavirtaamat, kuten tapahtui myös Commerce-alueella Terrebonnen kunnassa. Tällä Mhoon-alueella ei havaittu kaivon pumpausjärjestelmään kuuluvassa putkistossa minkäänlaisia tukkeutumisoongelmia. Tukkeutumisesta johtuvia ongelmia olsi saattanut syntyä jos järjestelmä olsi pidetty toiminnassa.

Alue, jolla suoritettujen mittaukset osoittivat ferroraudan nollapitoisuuksia toisessa tilanteessa ja korkeita ferroraudan pitoisuuksia toisessa, oli St. Maryn kunnassa sijaitseva Baldwin-hiesusavialue. Mittaukset suoritettiin noin kuukauden välein ja eri syvyyksiltä. Ensimmäisessä testissä, joka ilmaisi ferrorautapitoisuuden olevan nolla, olivat vesinäytteet peräisin 1.22-1.65 m syvyydeltä maanpinnan alapuolelta. Toisella kerralla mittaukset suoritettiin, kun vedenpinta oli yli 2.0 m maanpinnan alapuolella (taulukko 1). Näillä suuremmilla syvyyksillä oli ferrorautapitoisuus 3 mg/l ja kokonaisrautapitoisuus yli 5 mg/l. Huolimatta korkeista mitatuista

rautapitoisuuksista ei salaojien laskuaukkoihin havaittu muodostuneen okraa. Nähtävästi maaperässä on rautaa, mutta niin syvällä salaojien alapuolella, että se ei vaikuta niihin.

Commerce-hiesuhiuealueella Assumptionin kunnassa oli mahdollisuus okran muodostumiseen korkea. Vesinäytteliden kokonaisrautapitoisuudet olivat jopa 3 mg/l. Salaojien laskuaukoissa havaittiin okraa, mutta sitä oli kerääntynyt vain hyvin vähän, koska salaojat rakennettiin vuonna 1983, ja ne ovat vedenpinnan alapuolella suuren osan ajasta johtuen siitä, että niitä käytetään vedenpinnan korkeuden säätelyyn.

East Baton Rougen (EBR) kunnan alueella osoittivat mittaukset korkeampia rautakonsentraatioita kuin St. Jamesin alueella, mutta okran muodostumista havaittiin vain St. Jamesissa. St. Jamesissa okraa muodostui nopeasti, mutta East Baton Rougessa okran muodostumisesta havaittiin vain merkkejä. Salaojitusjärjestelmät rakennettiin East Baton Rougeen vuonna 1975 ja St. Jamesiin vuonna 1976. Kummassakaan salaojitusjärjestelmässä ei salaojaputkien ympärillä käytetty suodatinainetta. Salaojat toimivat kummallakin alueella tyydyttävästi vielä vuonna 1987.

Sharkey-savialueelta Ibervillen kunnassa, Convent-hiuealueelta niinkään Ibervillen kunnassa sekä Jeanerette-hiesusavi-hiuealueelta Iberlan kunnassa otetut vesinäytteet eivät osoittaneet suuria mahdollisuuksia okran muodostumiselle, eikä salaojajärjestelmien laskuaukoissa havaittu okraa. Salaojitusjärjestelmät rakennettiin Sharkey-alueelle vuonna 1977 sekä Convent- ja Jeanerette-alueille vuonna 1978.

Maan tekstuuri

Eräs tämän tutkimuksen tavoitteista oli päätellä oliko okran muodostumisesta johtuvien ongelmien esiintyminen todennäköisempää tietyissä maalajeissa kuin toisissa. Maalaji ja maan tekstuuri määritettiin jokaisella salaojitetulla alueella salaojien rakentamisen yhteydessä. Kaivoissa olevista laskuaukoista

observoitiin oliko niihin muodostunut okraa. Maalajeilla ja tekstuureilla oli yhteyttä havaintoihin okran muodostumisesta salaojiin (taulukko 1).

Sharkey-savi: Testattaessa Sharkey-savimaalajia ei siitä löydetty rautaa. Koska testelissä ei havaittu rautaa ja ei ollut merkkejä okran muodostumisesta salaojajärjestelmään, joka oli ollut käytössä kahdeksan vuoden ajan, voidaan päätellä, että okran muodostuminen ei ole kovin todennäköistä tässä maalajissa.

Jeanerette-hiesusavihuue: Rautatestelissä ei löydetty rautaa, eikä kaivoissa olevista salaojien laskuaukoista löydetty merkkejä okran muodostumisesta. Tässä maaperässä oli kalsiumkarbonaattipitoisuuksia useilla syvyyksillä siinä kohdassa, johon reikä rautatestausta varten kaivattiin. Kalkin levittäminen maan pH-arvon nostamiseksi hyvin korkeaksi on eräs keino, jota on ehdotettu okran torjumiseksi. Koska tämä maaperä oli luonnostaan hyvin kalkkipitoinen, oli todennäköisyys okran muodostumiselle alhainen.

Commerce-hiesusavihuue: Tässä maalajissa on okran muodostuminen erittäin todennäköistä. Rautatestien tulokset osoittivat todennäköisyyden olevan suuren, ja salaojien laskuaukoissa havaittiin okraa.

Mhoon-hiesusavihuue: Tässä maalajissa on okran muodostuminen erittäin todennäköistä. Rautatestien tulokset osoittivat todennäköisyyden olevan suuren, ja salaojien laskuaukoissa havaittiin okraa.

Baldwin-hiesusavi: Tämän maalajin yhteydessä pidetään okran muodostumisen todennäköisyyttä alhaisena, vaikka paljon salaojien syvyyttä alempana suoritettujen rautatestien tulokset osoittavatkin muuta. Vedenpinnan ollessa suhteellisen lähellä maanpintaa (vähemmän kuin 1.65 m), mille syvyydelle salaojat todennäköisesti rakennetaan, suoritettujen rautatestien tulokset osoittivat okran muodostumisen todennäköisyyden olevan alhainen, eikä salaojein laskuaukoissa havaittu okraa.

Tunica-savi ja Tunica-Sharkey-savi: Näistä maalajeista otetut vesinäytteet osoittivat, että okran muodostuminen on niissä hyvin todennäköistä. Koska näihin maalajeihin ei ollut rakennettu salaojitusjärjestelmiä, ei saatavilla ollut havaintoja okran muodostumisesta. Tunica-saveksi määritetystä maalajista otettu vesinäyte otettiin itse asiassa savikerroksen alapuolella sijainneesta hiesusavihiuekerroksesta.

Keinoja okran torjumiseksi

Vaikka kirjoittajat eivät testanneetkaan okran-torjuntamenetelmiä, on tässä lueteltu useita keinoja, mihin on syynä ilmeinen okrantorjuntakeinojen tarve Louisianassa. Ford (1982) on käsitellyt seikkaperäisemmin useita näistä torjuntakeinoista.

Salaojien sijoittaminen vedenpinnan alle anaerobisten olosuhteiden alkaen saamiseksi on suosittu tapa okran torjumiseksi. Se on ollut tehokas keino Suomessa (Mäenpää, 1974, 1977) mutta ei Saksassa (Kuntze, 1968). Tanskassa salaojien sijoittaminen vedenpinnan alle on hidastanut okran muodostumista. (Grant, 1986). Monissa tapauksissa tätä menetelmää on käytetty sen jälkeen, kun okraa on löydetty. Jos tämä menetelmä valitaan käytettäväksi okran torjumiseen, olisi se otettava huomioon järjestelmää suunniteltaessa, jotta salaojasyvyys voitaisiin määrätä tämän mukaiseksi.

Orgaanisten suodatinmateriaalien käyttö on ollut jokseenkin onnistunut keino okran aiheuttamien ongelmien pienentämiseksi tai okran muodostumisen hidastamiseksi. Materiaalien kuten sahanpurun, olkien ja kookoskuidun käyttäminen auttaa okran torjumisessa johtuen niiden asteittaisesta hajoamisesta, mikä estää okran pysyvän kiinnittymisen suodatinmateriaaliin. Mimosa- ja tammipuun kaarnalastujen käyttäminen suodatinmateriaalissa on ollut jota kuinkin menestyksekkästä Saksassa (Kuntze, 1972). Kaarna vapauttaa happoa, joka pitää raudan liuoksessa, ja estää näin ollen okran muodostumisen.

Kuparin käyttöä salaojaputkissa ja suodatti-

missa, salaojakaivannon kalkitusta sekä salaojaputkien sisäänvirtausaukkojen suurentamista on kalkkia käytetty okran aiheuttamien ongelmien

vähentämiseksi. Hancor ilmoitti hiljattain uudesta yrityksestä okran torjumiseksi, mikä pitää sisällään kemiallisella okraa torjuvalla aineella kyllästettyjen salaojaputkien markkinoinnin. Tämä on erinomainen keino, jos kemikaali vain ei saastuta pohjavettä.

Okrantorjuntakeinojen tarve tulisi määrittää salaojitus- tai vesitalousjärjestelmien suunniteluvaiheessa. Jos torjuntamenetelmiä tarvitaan, olisi ne sisällytettävä järjestelmän suunnitelmaan.

Yhteenvedo

Fordin ja Hachin testivälitelöt toimivat tyydyttävästi arvioitaessa vesinäytteiden rautapitoisuuksia. Testivälitelöiden avulla määritetyt rautakonsentraatit korreloivat kohtuullisen hyvin salaojien laskuaukoista suoritettujen okran muodostumista koskevien havaintojen kanssa.

Louisianassa suoritettujen rautatestien ja havaintojen osoittavat, että okran muodostumisen todennäköisyys on suurempi Commerce- ja Mhoon-maalajeissa kuin Sharkey-savessa, Convent-hluteessa tai Jeanerette-hiesusavihiuteessa. Näin ollen tulisi salaojitus- tai vesitalousjärjestelmän suunnitelmaan sisällyttää menetelmät okran torjumiseksi, kun järjestelmiä suunnitellaan rakennettavaksi Commerce- ja Mhoon-maalajien yhteyteen. Baldwin -maalajissa okran muodostumisen todennäköisyys oli suuri syvällä, mutta ei pienillä syvyyksillä maanpinnan alapuolella. Koska salaojien laskuaukoissa ei havaittu okraa, pidetään okran muodostumisen todennäköisyyttä pienenä.

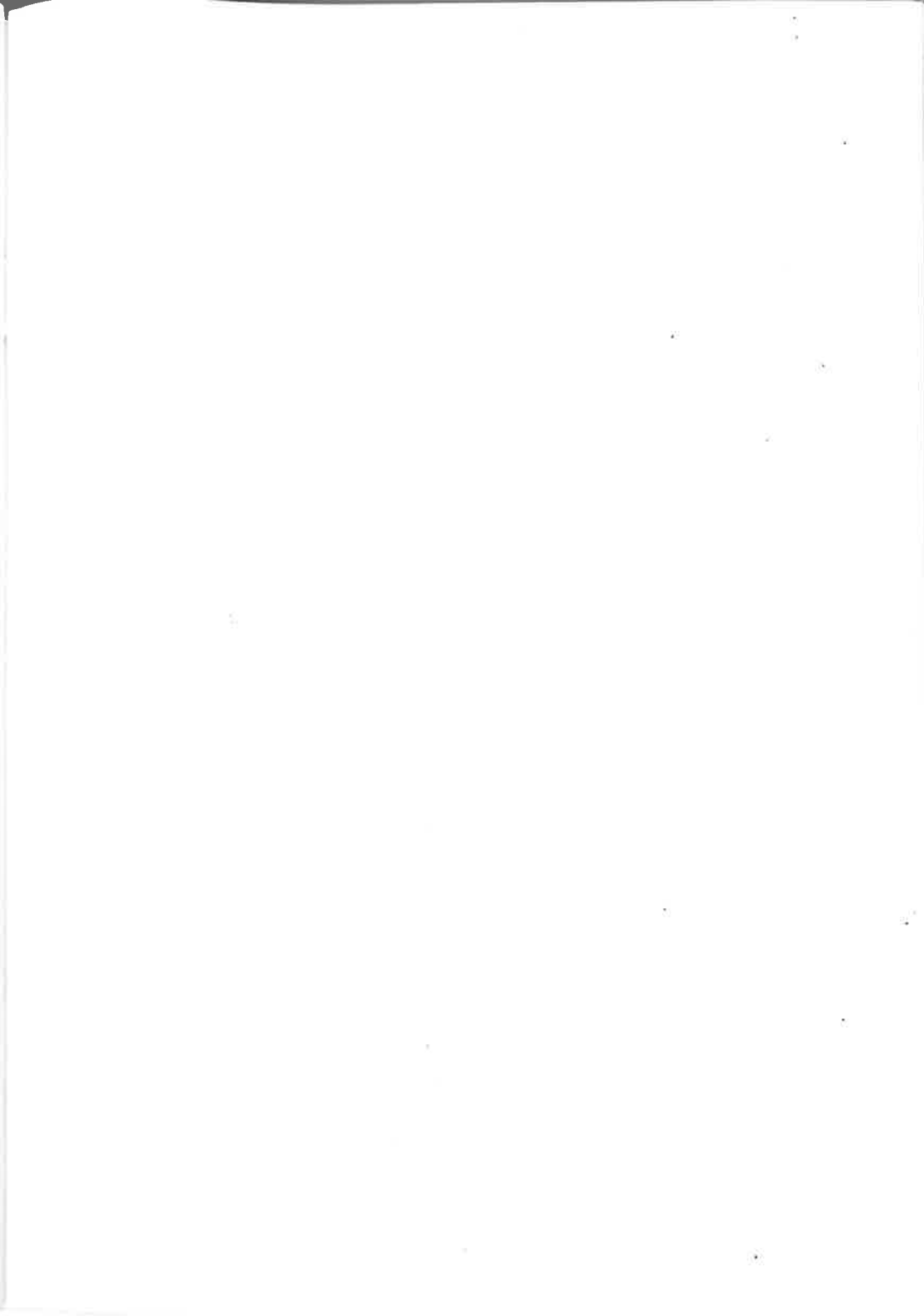
Suhteellisen korkeat rautakonsentraatit eivät aina korreloineet salaojien laskuaukkoihin kerääntyneitä okraa koskevien havaintojen kanssa. Näytteenotto- ja syvyyden tarkistaminen saattaa olla tärkeää arvioitaessa okran muodostumisen todennäköisyyttä.

Lähteet

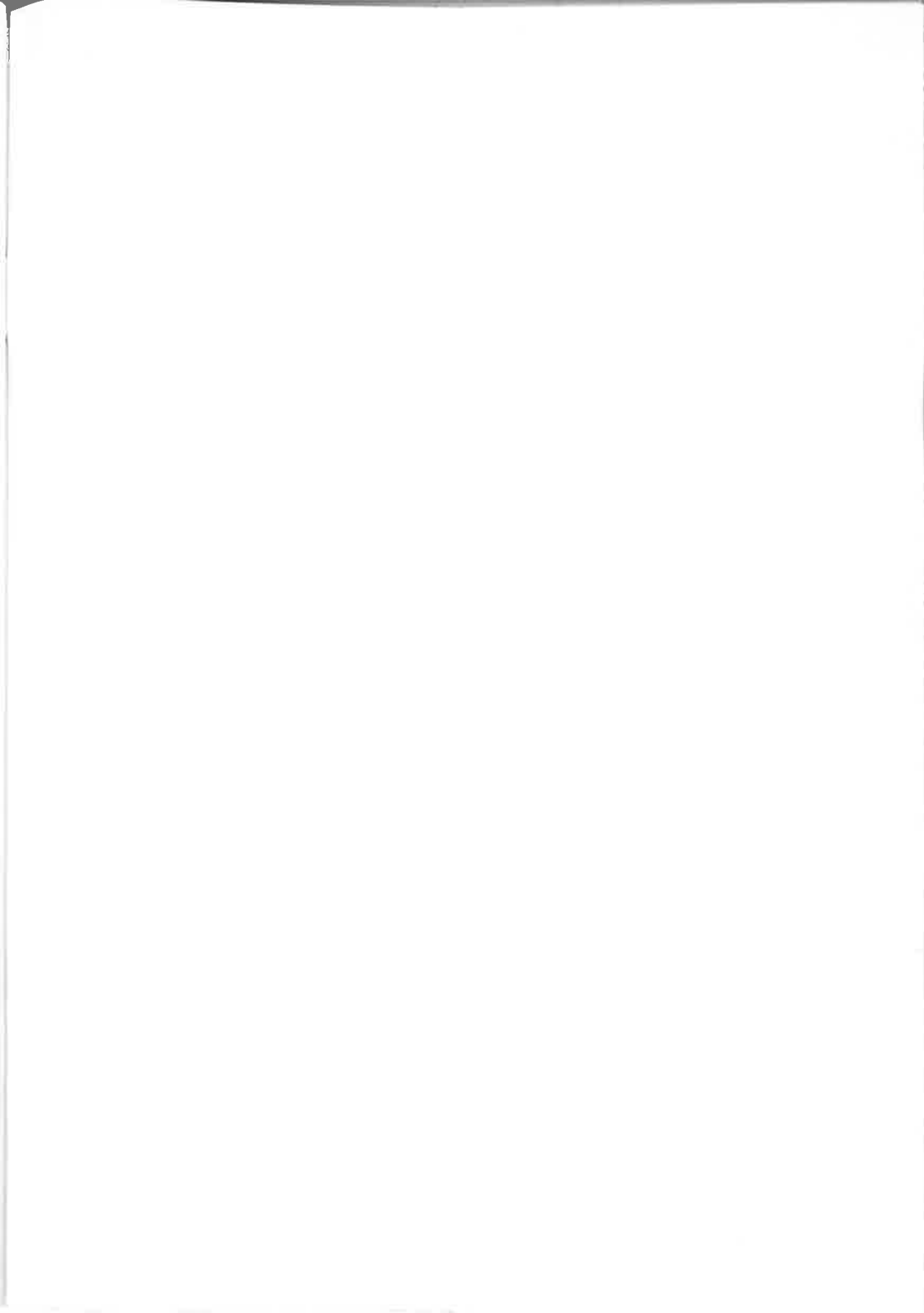
1. Ford, Harry, W. 1985. Iron ochre and related sludge deposits in subsurface drain lines. Florida Extension Cir. 671. 12 pp.
2. Ford, Harry W. 1982. Estimating the potential for ochre clogging before installing drains. Transactions of the ASAE 25(6), 1597-1600.
3. Grant, R.O. 1986. Experiments with drainage material and submerged drains on ochreous sites. Proceedings, International Seminar on Land Drainage. J.Saavalainen and P. Vakkilainen, Editors. 310-323.
4. Kuntze, H. 1968. Schutzmassnahmen gegen Verockern: Sauger unter Wasser? - Wasser und Boden, 20, 280-283.
5. Kuntze, H. 1972. Möglichkeiten der Beeinflussung materialspezifischer Verockerung. S.F. Kulturtechnik and Flurberingung 13, 321-327.
6. Mäenpää, O. 1977. Rostproblem vid drainering. III Praktiske diknings-metoder och hjälpmedel att bemastra rost-problemen vid drainering. -Nordisk Jordbruksforskning. 59, 192-200.
7. Takal, Y. and Kamura T. 1966. The mechanism of reduction in waterlogged paddy soil Folia Microbiologia 11: 304-313.
8. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1960. Soil Survey, Terrebonne Parish, Louisiana. 183pp.
9. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1968. Soil Survey, East Baton Rouge Parish, Louisiana. 123pp.
10. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1973. Soil Survey, St. James and St. John the Baptist Parishes, Louisiana. 94pp.
11. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1978. Soil Survey, Assumption Parish, Louisiana. 82pp.
12. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1978. Soil Survey, Iberla Parish, Louisiana. 125pp.

Aikaisemmin ilmestyneet Salaoituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet:

- 1/1987 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita salaojitustutkimuksesta
- 2/1987 Salaojatutkimusta koskevia aiheita
- 3/1987 Salaojituskoetoinnasta Ruotsissa ja salaojaputken ympärysaineista
- 4/1988 Salaojatutkimuksia vuosilta 1987...1988
- 5/1988 Kuivatusta ja kastelua koskevia tutkimuksia
- 6/1989 Maan tiivistymisen tutkimisesta Ruotsissa ja salaojatutkimuksesta Suomessa
- 7/1989 Salaojaseminaari Osuuspankkliopistolla 27.9.1988
- 8/1989 Salaoituksen tavoiteohjelma, näkymiä vuoteen 2010 saakka
- 9/1989 Sievin salaojituspäivät 20.-21.9.1989 ja ajankohtaista asiaa ympärysaineista
- 10/1990 Maaseudun ympäristöpäivä Laukaalla 20.3. ja Jokioisissa 26.3.1990







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

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