

*Maatalouden
tutkimuskeskuksen
julkaisuja*

S A R J A A

30

*Laura Alakukku
Paavo Elonen*

**Tiiviin maan
syväkuohkeutus**

Laura Alakukku
Paavo Elonen

Tiiviin maan syväkuohkeutus

Deep loosening of soil

Maatalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-504-9

ISSN 1238-9935

Copyright

Maatalouden tutkimuskeskus

Laura Alakukku

Julkaisija

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puh. (03) 4188 7502, telekopio (03) 418 8339

Painatus

Vammalan Kirjapaino Oy 1997

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.

Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

Tiivistelmä

Avainsanat: kivennäismaa, sokerijuurikas, vilja, jälkivaikutus, maan kuivuminen

Tiiviin maan rakennetta yritettiin parantaa mekaanisella syväkuohkeutuksella 17 kenttäkokeessa eri puolilla Etelä-Suomea. Koelohkot olivat kivennäismailla. Seitsemässä kokeessa selvitettiin maan kosteuden vaikutusta kuohkeutustulokseen. Näissä kokeissa syväkuohkeutettiin sekä kasvuston peitossa ollutta maata että kesantoa (tai kynnöstä), jonka oletettiin olevan edellistä kosteampaa.

Pääosa kentistä perustettiin syksyllä sadonkorjuun jälkeen. Maa kuohkeutettiin Koelbe-Gmeinder -yhtiön valmistamalla TLG12-syväkuohkeuttajalla, jossa oli aktiivisesti maata kuohkeuttava kaksoisterä. Kokeissa työsyvyys oli 70 - 80 cm. Koealat kuohkeutettiin mahdollisimman kohtisuoraan imuoja vasten.

Kuohkeutusta seuranneena keväänä määritettiin muokkauskerroksen kosteus ennen toukokuuta. Syväkuohkeutuksen satovaiikutusta seurattiin kolmen kasvukauden ajan. Ensimmäisenä vuonna kuohkeutuksen jälkeen viljeltiin perunaa ja rypsiä kumpaakin yhdellä koekentällä. Muuten koepaikoilla viljeltiin sokerijuurikasta ja viljoja.

Syväkuohkeutus ei vaikuttanut merkittävästi muokkauskerroksen kevätkosteuteen. Se huononsi kuitenkin maan kanta-

vuutta monin paikoin merkittävästi. Kolmen kuohkeutusta seuranneen vuoden aikana kenttäkokeista korjattiin yhteensä 43 koesatoa. Näiden tulosten mukaan syväkuohkeutus ei vaikuttanut merkittävästi juurikavien tai viljojen sadonmuodostukseen. Keskimäärin syväkuohkeutetun ja kuohkeuttamattoman koejäsenen satojen välinen ero oli 1 prosenttiyksikkö.

Syväkuohkeutuksen onnistuminen edellyttää, että maa on kuivaa koko työsyvytydessä. Kuohkeutustulokseen vaikuttikin todennäköisesti se, että maa ei kuivunut kuohkeutuskesänä kunnolla. Lisäksi osa kenttäkokeista jouduttiin kuohkeuttamaan myöhään syksyllä, jolloin runsaat syysateet olivat kasteleet maan. Myös maan tiivistyminen uudelleen kuohkeutuksen jälkeen vaikutti joissakin kenttäkokeissa satotuloksiin.

Yhteenvedon voidaan sanoa, että mekaaninen syväkuohkeutus kalliina ja epävarmana menetelmänä tuskin kannattaa. Jatkotutkimuksissa olisikin selvitettävä maan rakenteen muokkaamista biologisten prosessien avulla, kun viljelymenetelmä ja -kierro on suunniteltu kyseisten prosessien toimintaa tehostavaksi.

Abstract

Key words: mineral soils, sugar beet, small grain cereals, soil moisture content

The effects of deep loosening on the structure of compact soil were investigated in 17 field experiments conducted on mineral soils in southern Finland. In seven experiments, which examined the effect of soil moisture content during loosening, different moisture contents were sought by using two preceding crops. Before the loosening a crop was grown in one half of the experimental area whilst the soil lay fallow (bare) or was ploughed in the other half. The fallow and ploughed areas were expected to be more moist than the areas where the crop was grown.

Most of the field experiments were established in autumn, after the crops had been harvested. The soils were loosened with a TLG12 deep loosener (stroke-tilting loosener) manufactured by Koelbe-Gmeinder company. The soils were loosened to 70-80 cm depths, as far as possible perpendicular to the drainage.

In the first spring after loosening, the soil moisture content before seedbed preparation was determined in a 0-20 cm layer. The effects of deep loosening on crop yield were investigated in the subsequent 3 years. In the first year, both potato and spring oilseed rape were grown in one field experiment. Otherwise small grain cereals and sugar beet were grown.

Soil moisture content before seedbed preparation was not notably affected by

deep loosening. In many field experiments, the bearing capacity of the loosened soil was, however, clearly poorer than that of soil in control plots. 43 crops were harvested during the 3 years after loosening. The yields of sugar beet and small grain cereals were not significantly affected by deep loosening. The mean difference in relative yields between deep loosened and control treatments was 1 percentage unit.

The soil should be dry during deep loosening. Here, most of the soils remained moist during the growing season before loosening, which probably affected the outcome of deep loosening. Likewise, some of the field experiments had to be established late in autumn, after rain had moistened the soil. The results of some field experiments were also affected by re-compaction of the deep loosened soil.

The present results show that mechanical deep loosening of soil seldom can ameliorate the structure of compacted soil. Deep loosening is, however, expensive and its effects are uncertain. Further studies should therefore focus on alleviating compaction by bioprocesses (biological tillage), the functioning of which is intensified by crop rotation and cultivation method. Biological tillage is a low-cost process, and the biopores are more stable than the macropores produced by mechanical tillage.

Esipuhe

Professori Paavo Elonen käynnisti vuonna 1980 tutkimuksen, jossa selvitettiin maan mekaanista syväkuohkeutusta. Aihe on edelleen tärkeä ja ajankohtainen. Jatkuvasti keskusteluissa esitetään kysymyksiä mahdollisuudesta palauttaa tiivistyneen maan rakenne mekaanisella syväkuohkeutuksella.

Tutkimukseen kuului 17 kenttäkoetta. Kiitän kaikkia yksityisiä viljelijöitä, tutkimuslaitoksia ja tutkimusasemia, joiden viljelmillä kenttäkokeita sijaitti. He mahdollistivat tutkimuksen useilla maalajeilla. Paloheimo Oy luovutti käyttöön syväkuohkeuttajan, jolla

kokeet perustettiin, ja huolehti myös sen kuljetuksesta kenttien välillä. Sokerijuurikkaan tutkimuslaitoksessa tehtiin sadon laatuanalyysit sokerijuurikaskokeista. Lisäksi kenttäkokeiden hoitoon osallitui eri yksiköiden henkilökuntaa. Kiitokset kaikille, jotka osallistuivat tutkimuksen toteutukseen.

Paavo Elonen suunnitteli ja toteutti kenttäkokeet sekä osallitui käsikirjoituksen muokkaamiseen. Hän antoi käyttööni aineiston, johon tutkimuksen tulokset perustuvat ja joiden pohjalta laadin käsikirjoituksen.

Laura Alakukku

Sisällys

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Esipuhe	5
1 Johdanto	7
1.1 Mekaaninen kuohkeutus tavallista muokkauskerrosta syvemältä	7
1.2 Tuloksia syväkuohkeutuskokeista	8
1.3 Onnistuneen kuohkeutuksen edellytykset	8
2 Aineisto ja menetelmät	9
2.1 Koepaikat	9
2.2 Kokeiden perustus	9
2.3 Kokeiden viljely ja sademäärät koejakson aikana	10
2.4 Mittaukset ja tulosten käsittely	13
3 Tulokset ja niiden tarkastelu	13
3.1 Kuohkeutetun maan kosteus toukoajaan	13
3.2 Satotulokset	16
3.3 Yleinen tulosten tarkastelu	16
Kirjallisuus	20
Liitteet	

1 Johdanto

Nykyisin yhä useammilla lohkoilla maan liiallinen tiiviys heikentää pellon viljeltävyyttä ja kasvukuntoa. Maan haitallinen tiivistyminen johtuu monesti raskaasta peltoliikenteestä, sillä koneiden paino on voimakkaasti lisääntynyt viime vuosikymmeninä. Lisäksi siirtyminen yksipuoliseen viljelyyn on heikentänyt maan rakennetta.

Muokkauskerroksessa kyntö ja luonnon prosessit kuohkeuttavat maata tehokkaasti. Voimakaskin tiivistymä häviää kyntökerroksesta 3 - 5 vuoden kuluessa. Maan tiivistyessä tavallista muokkauskerrosta syvemmälle tiivistymä on yleensä pitkäikäinen, joissakin tapauksissa jopa pysyvä. Savimaassa tiivistymä säilyi muokkauskerroksen alapuolella yhdeksän vuotta tai kauemmin roudasta ja muista ilmastovaihteluista huolimatta (Blake et al. 1976, Voorhees et al. 1986, Etana & Håkansson 1994, Alakukku 1996). Muokkauskerroksen alapuolinen tiivistymä voikin huonontaa maan ominaisuuksia (Alakukku 1996) sekä heikentää kasvien kasvua ja ravinteiden ottoa (Alakukku & Elonen 1995) pitkään tiivistymisen jälkeen.

Luonnon omat prosessit kuohkeuttavat maan rakennetta. Savimaassa kosteusvaihtelut halkeiluttavat maata puoleen metriin, jopa syvemmällekin (Gaheen & Njøs 1978, Alakukku 1996). Routa kuohkeuttaa maata etenkin muokkauskerroksessa. Kasvien juuret ja lierit puolestaan elvyttävät maan rakennetta jättämällä siihen suuria huokosia (Heinonen 1986). Luonnon prosessien intensiteetti ja frekvenssi on kuitenkin heikompi maan syvissä kerroksissa kuin lähellä maan pintaa. Lisäksi niiden teho vaihtelee vuosittain ja maalajeittain. Luontaisten prosessien rinnalle onkin pitkään kehitetty mekaanisia kuohkeuttajia. Esimerkiksi vuonna 1860 oli Helsingissä pidetyssä Maamiehen keinollisuus kaluun -näyttelyssä esillä rautainen jankon kuohittelija (Aaltonen 1929).

1.1 Mekaaninen kuohkeutus tavallista muokkauskerrosta syvemmältä

Kyntöanturaa ja muokkauskerrosta kuohkeutetaan kyntämällä joskus, kun olosuhteet ovat hyvät, 10 - 15 cm tavallista syvempään. Syväkyntöön tarkoitettujen erikoisaurujen työsyvyys voi olla 50 - 150 cm (Schulte-Karring 1980). Maata ei voida kuitenkaan aina syväkyntää. Jos pohjamaasta muokkauskerrokseen sekoittuva maa-aines huonontaa sen kasvukuntoa, syväkynnöstä kannattaa luopua (Larpes 1963, Nilsson 1981). Toisaalta savisen pohjamaan sekoittuminen hiesumaan kyntökerrokseen voi taas jopa parantaa sen ominaisuuksia (Larpes 1963, Njøs 1980).

Maata jankkuroidaan kyntöauraan kiinnitetyllä lisälaitteella tai erityisellä jankkurilla. Jankkuroiti ei sekoita maakerroksia keskenään vaan sen tarkoitus on murtaa tiivistynyt kerros kuohkeaksi. Kynnön yhteydessä jankkuroinnin työsyvyys on 10 - 15 cm kyntösyvyyttä suurempi. Erityisten jankkureiden työsyvyys vaihtelee välinekohtaisesti ja suurimpien laitteiden kuohkeutusyvyys on yli metrin.

Syväkynnön ja jankkuroinnin lisäksi maata kuohkeutetaan mm. paineilmalla: maahan johdetaan 1,6 - 2,0 MPa:n paineella ilmaa kuohkeutusyvytydessä. Menetelmää käytetään hedelmäpuutarhoilla yms. alueilla, joilla kasvien juuristo ei saa vahingoittua kuohkeutettaessa (Achilles 1980). Joissakin tapauksissa maata kuohkeutetaan myös kairavinkoneella (Rolf 1986) ja räjähdysaineilla (Schulte-Karring 1980). Riviviljelyyn on kehitetty rivin alapuolinen kuohkeuttaja (Trousse 1983). Kyntämättä viljellyn maan kuohkeutukseen käytetään Paraplow-laitetta (Braum et al. 1984). Paraplow ei käännä maata vaan kulkee viistosti maassa samalla nostamalla sitä. Myös myyräojituksella on pyritty parantamaan maan vedenläpäisykykyä.

1.2 Tuloksia syväkuohkeutuskokeista

Syväkuohkeutuksen vaikutusta maan rakenteeseen mitataan maan ominaisuuksien muutosten perusteella. Mekaaninen syväkuohkeutus lisäsi maan vedenvarastointikykyä kuohkeutusssyvydessä (Hauser & Taylor 1964, Musick et al. 1981, Wind 1982), mikä lisäsi kasveille käyttökelpoisen veden määrää etenkin kuivina kasvukausina (Doty et al. 1975, Stone 1982). Windin (1982) mukaan syvältä kuohkeutettu maa kuivui keväällä tavallista hitaammin, mikä viivytti toukotöitä. Martinovic'in (1982) ja Sojkan et al. (1997) mukaan syväkuohkeutus paransi maan vedeläpäisevyyttä huomattavasti, mutta Windin (1982) mukaan se paransi läpäisevyyttä hyvin harvoissa tapauksissa. Kuohkeutus vähensi maan lujutta (Braim et al. 1984, Larney & Fortune 1986, Sojka et al. 1997) ja lisäsi juurten pituuskasvua (Doty et al. 1975). Soane et al. (1986) puolestaan totesivat syväkuohkeutuksen huonontaneen maan kantavuutta merkittävästi.

Syväkuohkeutuksen vaikutus kasvien satoon on vaihdellut mm. kasvilajista, maan olosuhteista ja sääoloista riippuen suuresti. Edlingin et al. (1969) mukaan hietamaiden, joissa oli savesta 12 - 30 %, syväkyntö (35 cm) tai jankkurointi (55 cm) lisäsi joissakin tapauksissa ja toisissa tapauksissa taas pienensi lievästi viljelykasvien satoa. Keskimäärin kuohkeutus ei vaikuttanut satoon. Myöskään monissa muissa tutkimuksissa syväkuohkeutus ei vaikuttanut merkittävästi kasvien hehtaarisatoihin (Nilsson & Henriksson 1968, Njøs 1980, Henriksen 1986). Larney & Fortune (1986) puolestaan raportoivat sekä suurista sokerijuurikassadon lisäyksistä että vähennyksistä koepaikasta riippuen, kun he jankkuroivat savista hieumaata. Toisinaan syväkuohkeutus yksinomaan lisäsi satoa (Unger 1979, Martinovic' 1982). Suomessa jankkuroinnin satovaikutus oli pieni ja epävarma (Larpes 1967), ja syväkyntö (30 cm) oli jankkurointia tehokkaampi ja varmempi kuohkeutusmenetelmä savimalla (Alakukku 1987).

Kuohkeutustulosten vaihtelevuuteen vaikuttavat monet tekijät. Nilsson & Henriksson (1968) epäilivät, että maassa ei ollut kuohkeutustarvetta, koska kuohkeutus ei vaikuttanut kasvien satoon. Syväkuohkeutus voi myös epäonnistua, jos maa ei ole sopivan kuivaa käsiteltäessä, kuohkeutusssyvyys ei ole riittävä, maa tiivistyy nopeasti uudelleen tai kuohkeutus sekoittaa muokkauskerrokseen sen rakennetta huonontavaa ainesta. Kuohkeutusmenetelmä saattaa osaltaan vaikuttaa lopputulokseen, sillä jokainen menetelmä eivät sovi kaikkiin tilanteisiin. Laitteiden tekniset ominaisuudet tuleekin ottaa huomioon kuohkeutettaessa. Esimerkiksi kuohkeutusssyvyyden ylittäessä kuohkeuttajan kriittisen työsyvyyden, laite ei enää kuohkeuta maata, vaan vetää siihen pelkän kulku-uran (Spoor & Godwin 1978).

1.3 Onnistuneen kuohkeutuksen edellytykset

Syväkuohkeutuksen onnistuminen edellyttää, että kuohkeutettava maa on riittävän kuivaa koko työsyvyudessa (Swain 1975, Schjøning 1986). Sopivan kuiva maa halkeilee ja murenee hyvin, mutta kostea maa saattaa jopa tiivistyä kuohkeutettaessa. Liian kuivaa maata on vaikea kuohkeuttaa, koska sen vetovastus on erittäin suuri ja se lohkeilee suuriksi kokkareiksi. Maan kosteuden tulisi olla kuohkeutettaessa kieritysrajaa kuivempi mutta lakastumisrajaa kostempi täytäkseen edelliset vaatimukset (Rolf 1987). Käytännössä paras kuohkeutusajankohta on yleensä aikaisin syksyllä, kun korjattu sato on kuivattanut maan.

Syväkuohkeutuksen jälkeen maan rakenne on tavallisesti löyhä ja vakiintumaton. Kuohkeutettu maa tiivistyy usein kahdessa kolmessa vuodessa uudelleen etenkin, kun viljelytoimet vaativat paljon ajokertoja (Larney & Fortune 1986, Bennie & Botha 1986, Kooistra & Boersma 1994). Uudelleen tiivistyneen maan kasvukunto on monesti huonompi kuin ennen kuohkeutusta, koska syväkuohkeutus rikkoo maan luontaisen

makrohuokosrakenteen. Musickin et al. (1981) mukaan tiivistyminen rajoittui joskus vain muokkauskerrokseen (20 cm), jolloin sitä syvemmän kuohkeutuksen (40 - 80 cm) positiivinen vaikutus säilyi useita vuosia. Vaikutuksen kesto voi riippua myös kuohkeutusmenetelmästä. Hauserin & Taylorin (1964) mukaan syväkyntö paransi maan kasvukuntoa pidempään kuin jankkurointi. Borchert & Graft (1981) totesivat kuohkeutuksen vaikutusajan lyhenevän maan hiesu-pitoisuuden kasvaessa ja saveksen määrän vähetessä. Spoor (1980) painotti, että kuohkeutusvaikutus kesti pidempään, kun biologisten prosessien annettiin vakauttaa kuohkeutetun maan rakenne. Kuohkeutettu maa kannattaakin jättää esimerkiksi monivuotiselle viherkesannolle, jotta sen rakenne saa vakiintua rauhassa.

Suomessa tiivistymisen aiheuttamat ongelmat tulivat korostetusti esille 1970-luvun loppupuoliskon märkinä kasvukausina. Niihin etsittiin ratkaisua erityisesti syväkuohkeuttajasta, jonka työsyvyys oli reilusti tavallista muokkaussyvyyttä suurempi. Maatalouden tutkimuskeskuksen Kasvintuotannon tutkimuslaitoksessa päätettiin kartoittaa kyseisen laitteen mahdollisuudet ongelmalohkojen kuohkeutuksessa, vaikka aikaisemmat syväkuohkeutustulokset eivät olleet rohkaisevia. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten mekaaninen syväkuohkeutus saksalaisella TLG12-kuohkeuttajalla vaikutti tiivistyneiden ja liikamärkyydestä kärsineiden alueiden viljeltävyyteen ja sadontuottoon. Kenttäkokeet perustettiin peltolohkoille, joilla oli ojitusergelmiä maan huonon vedenläpäisevyyden vuoksi. Peltolohkojen ojituksen piti olla teknisesti kunnossa.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Koepaikat

Tutkimukseen kuului 17 kenttäkoetta eri puolilla Etelä-Suomea. Kaikki kentät olivat kivennäismailla. Pääosa kokeista tehtiin savimailla, mutta mukana oli myös muutama

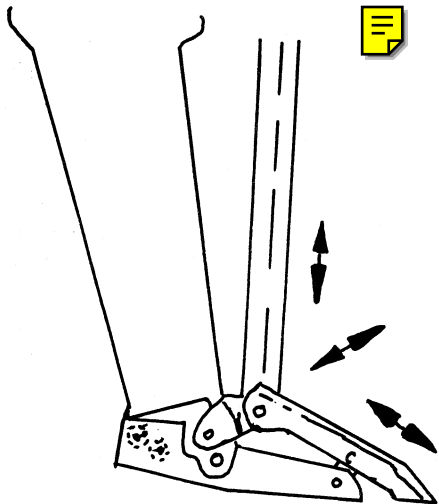
hiesu- ja hietakenttä. Tutkimuksessa selvitettiin myös maan kosteuden vaikutusta kuohkeutuksen onnistumiseen. Tämän vuoksi osassa kenttäkokeista kuohkeutettiin sekä kesanto- tai kynnösmaata että kesän kasvuston peitossa ollutta maata, jonka oletettiin olevan edellistä kuivempaa. Liitteessä 1 esitetään kenttäkokeiden sijaintikunnat, maalajit, esikasvit ja viljelykasvit kuohkeutuksen jälkeen.

Varsinaisten kenttäkokeiden lisäksi syväkuohkeutusta kokeiltiin 41:llä maatilalla. Kokeilusta vastasi Paloheimo Oy, joka kuohkeutti pellon vuokra-ajona. Näin TLG-syväkuohkeuttaja oli työssä keväästä myöhäissyksyyn, kunnes maan routaantuminen n. 10 cm syvyyteen esti kuohkeutuksen. Tutkimusryhmä järjesti kokeiluun osallistuneille viljelijöille kyselyn syväkuohkeutuksesta saaduista kokemuksista.

2.2 Kokeiden perustus

Kenttäkokeet perustettiin vuonna 1980 Liitteessä 2 esitetyn kenttäkoekartan mukaisesti. Seitsemällä koepaikalla esikasveja oli kaksi. Näillä paikoilla kenttäkokeessa oli 12 ruutua. Muutoin kokeessa oli kuusi ruutua. Koejäsenet olivat kuohkeuttamaton (A) ja syväkuohkeutettu (B) maa. Kerranteita oli kolme. Maa kuohkeutettiin mahdollisimman kohtisuoraan imuojja vasten, minkä oletettiin edistävän veden pääsyä salaojiin (Liite 3). Kolmesta kenttäkokeesta osa kuohkeutettiin keväällä ja osa syksyllä (Loppi, Ryttylä ja Riihimäki). Muut kentät kuohkeutettiin syksyllä (Liite 1).

Kuohkeutetut ruudut käsiteltiin Koelbe-Gmeinder -yhtiön valmistamalla TLG12-syväkuohkeuttajalla, jonka tekniset tiedot esitetään Liitteessä 4. Laitteessa oli 80 cm:n välein kolme massiivista jankkuria, joissa oli kaksoisterä (Kuva 1). Terässä oli nivelöity kiinteän rungon eteen hydraulisesti liikkuva terä, joka kuohkeutti aktiivisesti maata. Syväkuohkeuttajan työsyvyys oli kenttäkokeissa 70 - 80 cm ja työleveys 240 cm. Vetokoneena käytettiin telaketjutraktoria, jonka teho oli 100 kW. Osassa kenttäkokeita



Kuva 1. TLG12-syväkuohkeuttajan kaksois-terän rakenne.

syväkuohkeuttajan perään oli kytketty jyrsin, joka tasoitti kuohkeutetun maan pintaa.

Ennen kuohkeutusta määritettiin kenttiltä maan kosteus gravimetrisesti 0 - 60 cm:n syvyydestä 10 cm:n mittausvälein. Näytteet kosteusmäärittäystä varten otettiin kuudesta kohtaa kentältä kultakin esikasvilta. Esikasin vaikutusta maan kosteuteen ennen kuohkeutusta testattiin tilastollisesti Studentin t-testillä syvyyksittäin.

Kun kenttäkokeessa kuohkeutettiin sekä kasvuston peittämää että paljaana ollutta maata, paljas maa oli yleensä kasvustollista kostempaa koetta perustettaessa (Kuva 2). Loppi ja Ryttylä olivat tässä suhteessa poikkeuksia. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että nämä kokeet perustettiin myöhään syksyllä, jolloin runsaat syyssateet olivat kastelleet maan (Taulukko 1).

Kesällä 1980 maa ei kuivunut kunnolla, vaikka elokuun alkuun mennessä ei satanut keskimääräistä enempää muualla kuin Jokioisissa (Taulukko 1). Elokuussa kuohkeutetuilla kentillä maa oli yleensä kuivempaa kuin kenttäkapasiteetissa (irtovesi on valunut maasta pois). Pohjamaa oli kuitenkin melko märkää Jokioisten, Perniön, Halikon

ja Espoon kesantoaloilla sekä Kiskossa ja Vihdissä (Kuva 2 ja Taulukko 2). Erityisen märkä oli myöhään kuohkeutettu Salon kenttä (Taulukko 2).

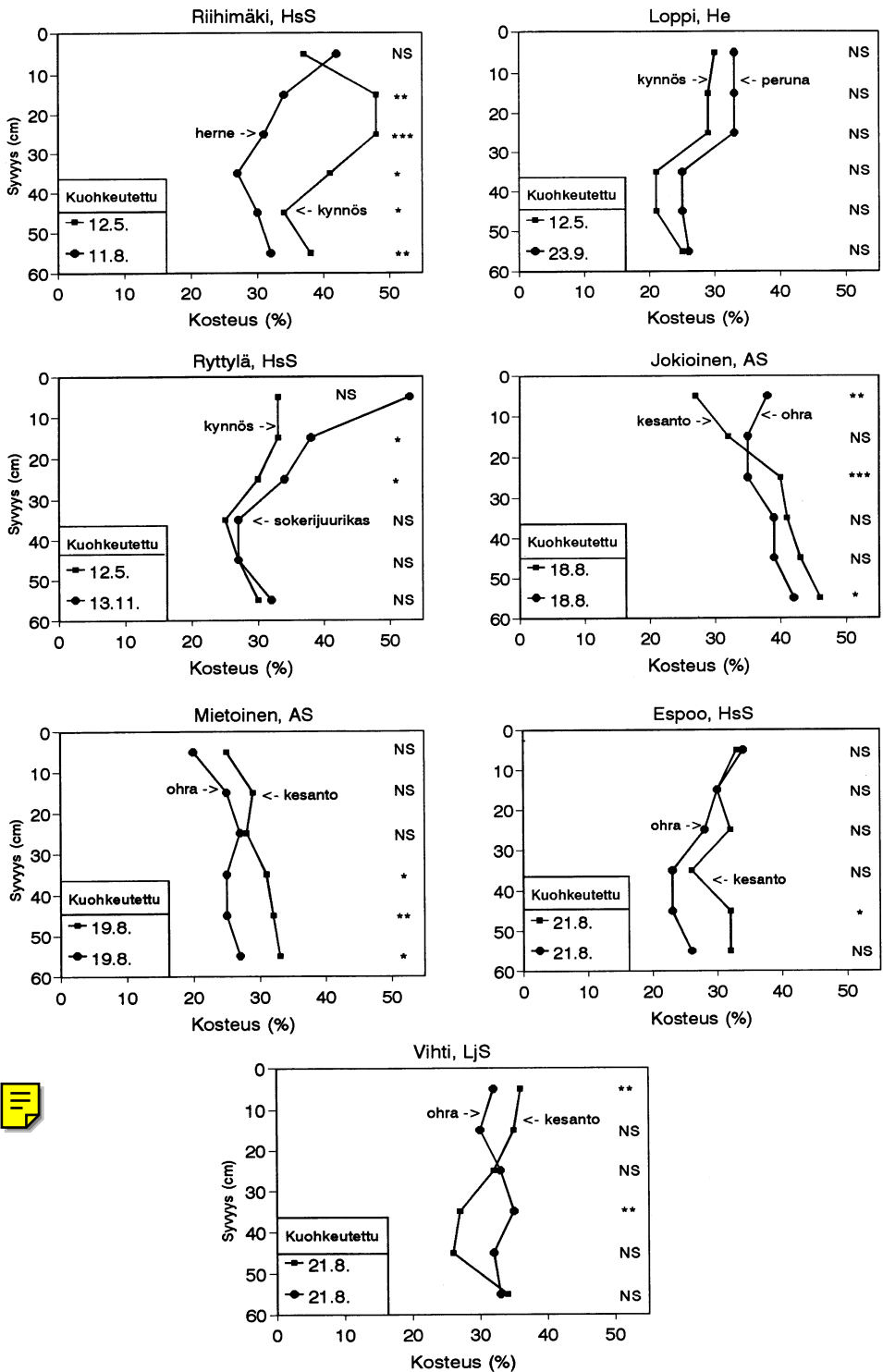
2.3 Kokeiden viljely ja sademäärät koejakson aikana

Kuohkeutuksen jälkeen kynnettiin muut kuohkeuttamattomat ruudut, paitsi syysviljelle kylvetetyt kesantorruudut. Kuohkeutettuja ruutuja ei kynnetty, koska kuohkeutuksen katsottiin korvaavan kynnön. Lisäksi haluttiin välttää kuohkeutetun maan tiivistämistä heti uudelleen.

Keväällä 1980 kuohkeutetut kentät (Loppi, Ryttylä ja Riihimäki) kylvettiin heti kuohkeutuksen jälkeen (Liite 1). Syksyllä 1980 kylvettiin Jokioisten (molemmat kokeet), Mietoisten, Espoon, Anjalan ja Vihdin kenttäkokeet syysviljelle (Liite 1). Muut kenttäkokeet jätettiin odottamaan kevättä 1981.

Vihdin kentällä ja Jokioisten toisella kentällä syysvilja-ala jouduttiin rikkomaan keväällä 1981, koska kasvusto oli talvehtinut huonosti. Nämä kokeet kylvettiin ohralle. Mietoisissa kohtalaisesti talvehtinut osa syysvehnäalasta jätettiin ja vain osa kentästä kylvettiin ohralle. Kasvukaudella 1981 yhdeksässä kenttäkokeessa viljeltiin sokerijuurikasta sekä yhdessä perunaa ja rypsiä. Syysvehnä ja ruista viljeltiin kahdessa kenttäkokeessa. Vuonna 1982 syväkuohkeutuksen jälkivaikutusta seurattiin 12 kenttäkokeessa. Niissä viljeltiin sokerijuurikasta, perunaa ja viljoja (Liite 1). Koejakson aikana kenttäkokeita viljeltiin tavallisin menetelmin ja niille tehtiin normaalit kasvukauden aikaiset hoitotoimet.

Kasvukauden aikaiset kuukausittaiset sademäärät koevuosittain esitetään Taulukossa 1. Jollei koepaikkakunnalla ollut omaa säähavaintoasemaa, sadehavainnot olivat koepaikkaa lähinnä olleelta asemalta. Näin saatiin likimääräinen kuva koepaikan lähiseudun sateista jälkivaikutusjakson aikana.



Kuva 2. Maan kosteus (% kuivapainosta) kuohkeutettaessa kentillä, joilla oli kaksi esikasvia. Kuvassa käytetyt merkitsevyydet vastaavat riskitasoja 5 % (*), 1 % (**) ja 0,1 % (***). NS = ei merkitsevää eroa käsittelyjen välillä. HsS = hiesusavi, He = hiue, AS = aitosavi, LjS = liejusavi.

Taulukko 1. Kasvukauden sademäärät koejakson aikana (Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1980, 1981 ja 1982).

Vuosi ja kuukausi	Sademäärä, mm								
	Jokioinen	Salo	Vihti	Mietoinen	Anjala	Kokemäki	Pori	Helsinki- Vantaa	Hyvinkää
1982									
Touko	71	61	28	53	24	44	35	31	28
Kesä	25	17	39	15	77	7	9	60	74
Heinä	84	71	55	67	19	27	22	35	18
Elo	111	97	108	72	84	76	95	96	110
Syys	67	32	43	61	25	67	73	34	40
Yhteensä	358	278	273	268	229	221	234	256	270
1981									
Touko	19	19	29	13	36	14	9	34	33
Kesä	115	67	123	117	99	127	90	122	108
Heinä	104	82	92	117	86	97	75	79	133
Elo	88	131	128	68	105	79	79	99	132
Syys	15	17	30	20	54	15	18	44	44
Yhteensä	341	316	402	335	380	332	271	378	450
1980									
Touko	20	26	41	12	50	22	8	66	51
Kesä	131	64	25	64	36	54	64	24	51
Heinä	16	36	57	46	59	60	38	48	57
Elo	76	121	108	122	115	87	134	105	87
Syys	58	77	53	99	32	60	51	65	74
Yhteensä	301	324	284	343	292	283	295	308	320
Loka	128	158	138	157	146	105	86	134	122
Marras	93	112	84	104	102	86	92	70	85
1931-60									
Touko	39	33	39	25	39	31	33	41	38
Kesä	42	39	46	45	53	45	45	50	47
Heinä	70	78	73	53	74	69	67	73	72
Elo	74	72	77	77	76	72	71	71	75
Syys	61	84	66	62	60	51	58	67	63
Yhteensä	286	306	301	262	302	268	274	302	295
Loka	61	64	65	55	63	51	58	69	63
Marras	51	55	57	52	57	42	48	64	53

Taulukko 2. Kuohkeutettavan maan kosteus prosentteina kuivapainosta koepaikoittain vuonna 1980 paikkakunnilla, joissa kokeessa oli yksi esikasvi. Paikkakunnan yhteyteen on merkitty kentän maalaji, esikasvi ja kuohkeutuspäivämäärä.

Syvyys (cm)	Maan kosteus, % kuivapainosta (keskihajonta)									
	Anjala, AS kesanto, 5.8.		Jokioinen, HsS kesanto, 18.8.		Perniö Myllypelto HsS, kesanto, 19.8.		Halikko, AS kesanto, 19.8.		Perniö Kotipelto HsS, syysvehnä, 19.8.	
0 – 10	29		13	(3)	23	(3)	20	(4)	24	(4)
10 – 20	35		21	(2)	32	(4)	37	(6)	27	(7)
20 – 30	34		22	(4)	36	(4)	41	(4)	27	(5)
30 – 40	36		24	(3)	44	(8)	45	(1)	28	(4)
40 – 50	37		29	(2)	27	(7)	46	(5)	26	(7)
50 – 60	38		29	(3)	37	(4)	44	(4)	25	(8)
	Mynämäki, HsS herne, 18.8.		Kisko, AS ohra, 19.8.		Säkylä, sHt nurmi, 23.9.		Nakkila, He herne, 23.9.		Salo, HsS kaura, 8.10.	
0 – 10	24	(14)	29	(8)	46	(10)	26	(2)	43	(8)
10 – 20	22	(2)	35	(4)	45	(10)	24	(5)	42	(2)
20 – 30	23	(3)	37	(4)	39	(13)	27	(4)	42	(1)
30 – 40	24	(4)	35	(4)	24	(16)	18	(2)	39	(3)
40 – 50	25	(4)	37	(2)	32	(3)	17	(2)	39	(3)
50 – 60	27	(4)	43	(2)	33	(3)	21	(2)	41	(4)

AS = aitosavi, HsS = hiesusavi, sHt = savinen hieta, He = hiue

2.4 Mittaukset ja tulosten käsittely

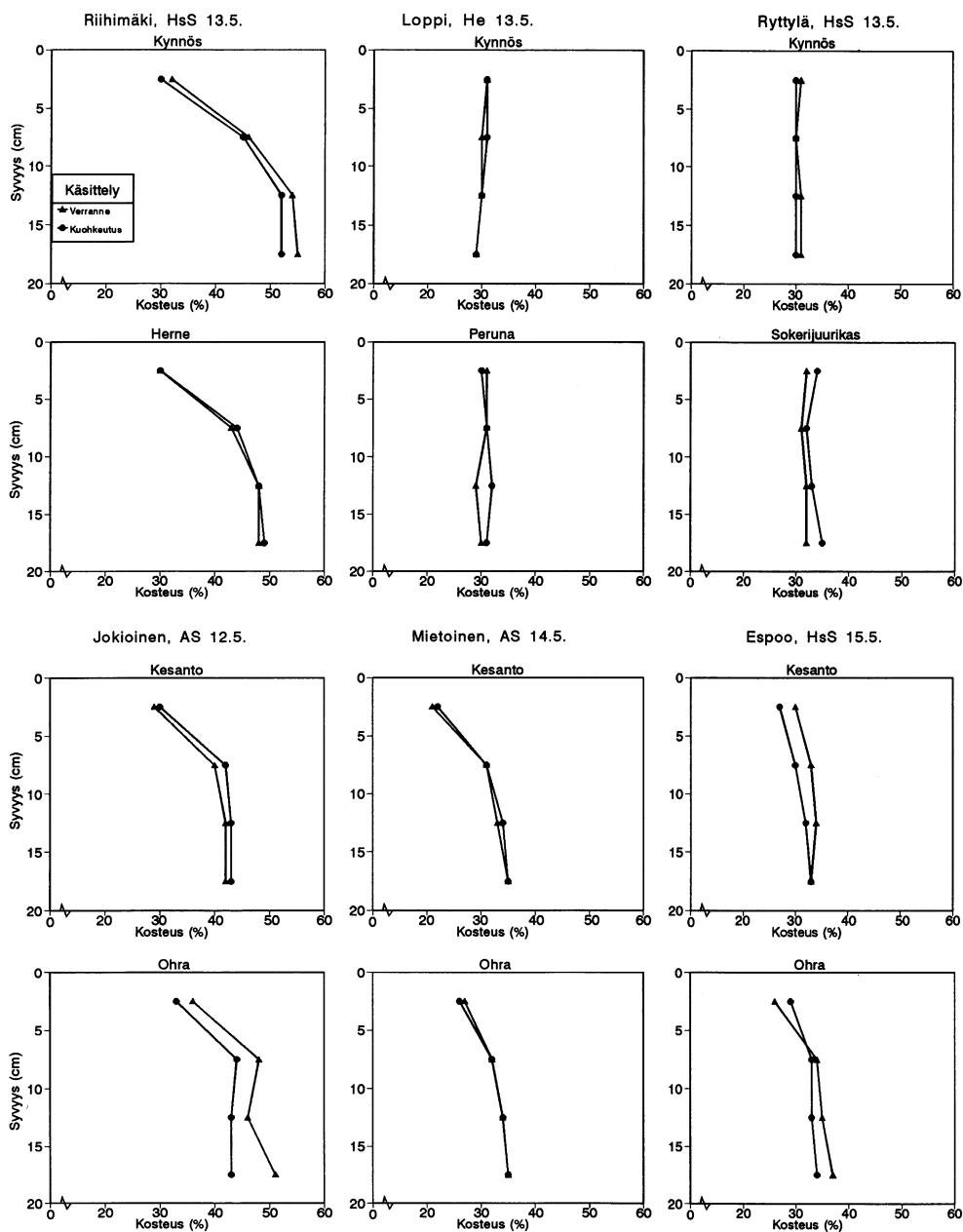
Keväällä 1981 otettiin maan kosteusnäytteet, joiden avulla selvitettiin, nopeuttaako kuohkeutus muokkausekerroksen kuivumista kylvökuntoon. Näytteet otettiin 0 - 20 cm:n syvyydestä, neljästä mittaussyvyydestä ja kahdesta kohtaa koeruutua. Maan kosteus määritettiin gravimetrisesti. Näytteet kuivatettiin 105°C:een lämmössä ja maan kosteus ilmoitettiin prosentteina kuivapainosta. Käsittelyjen keskiarvojen välinen ero testattiin tilastollisesti varianssianalyysillä syvyyksittäin.

Kuohkeutuksen vaikutusta viljelykasvien sadonmuodostukseen seurattiin vuosina 1980-1982. Liitteessä 1 on esitetty koepaikoittain kasvit, joita siellä viljeltiin. Kuohkeutuskäsittelyjen keskiarvojen välinen ero testattiin tilastollisesti varianssianalyysillä.

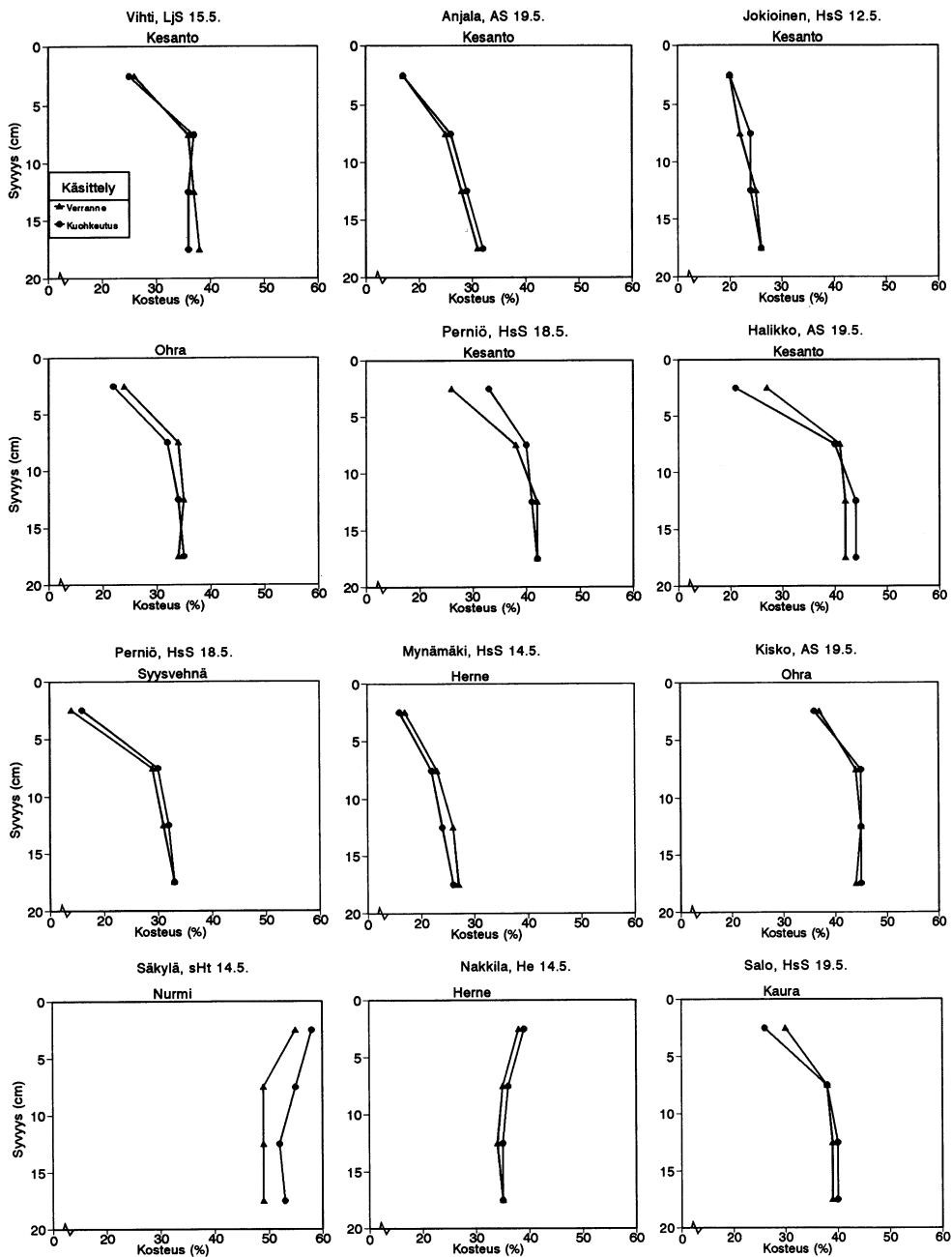
3 Tulokset ja niiden tarkastelu

3.1 Kuohkeutetun maan kosteus toukokuuhun

Syväkuohkeutus ei vaikuttanut tilastollisesti merkittävästi maan kuivumiseen ennen kevätkylvöjä millään koepaikalla (Kuvat 3 ja 4). Larneyn & Fortunen (1986) mukaan syväkuohkeutuksen vaikutus kivennäismaiden muokkausekerroksen kevätkosteuteen vaihteli koepaikoittain merkittävästi. Heidän tutkimuksessaan syväkuohkeutettu maa oli kuitenkin aina kuohkeuttamatonta kostempaa muokkausekerroksen alapuolella.



Kuva 3. Maan kosteus (% kuivapainosta) muokkaukerroksessa kuohkeutusta seuranneena keväänä esikasveittain koepaikoilla, joilla oli kaksi esikasvia. Paikkakunnan yhteydessä mainittu päivä, jolloin kosteus määritettiin. Maalajit kuten Taulukossa 1 ja Kuvassa 2.



Kuva 4. Maan kosteus (% kuivapainosta) muokauskerroksessa kuohkeutusta seuranneena keväänä esikasveittain Vihdissä ja paikkakunnilla, joilla oli yksi esikasvi. Paikkakunnan yhteydessä mainittu päivä, jolloin kosteus määritettiin. Maalajit kuten Taulukossa 1 ja Kuvassa 2.

3.2 Satotulokset

Syväkuohkeutuksen vaikutusta viljelykasvien satoihin tutkittiin kolmena vuonna kuohkeutuksen jälkeen. Vuosi 1981 oli tärkein kuohkeutusvaikutusten seurantavuosi (Taulukko 3, Liite 1). Kyseisenä vuonna sadot jäivät huonoiksi niin koekentillä kuin yleisestikin koko Suomessa, sillä kasvukausi oli erittäin märkä (Taulukko 1). Etenkin kevätviljat kärsivät märästä alkukesästä, ja kellastuneita oraspeltoja nähtiin yleisesti. Myös syysviljat olivat talvehtineet huonosti. Vuosi 1982 sen sijaan oli poikkeuksellisen edullinen. Viljasadot olivat lähes kaksinkertaiset edellisvuoteen verrattuna.

Alunperin oli tarkoitus seurata syväkuohkeutuksen jälkivaikutuksia useana vuonna. Tulokset olivat kuitenkin niin huonoja heti ensimmäisestä vuodesta lähtien, että johtopäätökset voitiin tehdä jo tuolloin, ja kahden vuoden kuluttua koekenttien seuranta lopetettiin.

Satotulokset on koottu Taulukkoon 3 sekä Kuvaan 5. Syväkuohkeutetussa koejäsenessä keskimääräinen hehtaarisato oli pienempi tai suurempi kuin kuohkeuttamattomassa paikasta ja vuodesta riippuen. Yleensä koekentän sisäinen vaihtelu oli kuitenkin suurta, eivätkä merkittävätkään keskimääräiset satoerot käsittelyjen välillä olleet tilastollisesti merkitseviä. Kolme kerrannetta ei riittänyt poistamaan maaperävaihtelun häiritsevää vaikutusta, eikä syväkuohkeutuksen mahdollista vaikutusta yksittäisten koepaikojen satoihin voitu luotettavasti selvittää. Koepaikkoja on kuitenkin niin runsaasti, että koko tutkimusaineiston yhteenvetojen perusteella voidaan tehdä pidemmälle meneviä päätelmiä.

Jos seitsemän ison kokeen kumpikin puolisko, joilla oli eri esikasvi, lasketaan omaksi kokeeksi, niitä oli yhteensä 24 kpl. Kolmen vuoden aikana korjattiin yhteensä 43 koesatoa. Kun juurikasveihin luetaan sokerijuurikas ja peruna sekä viljoihin myös rypsi, saadaan Taulukossa 4 esitetty yhteenveto. Siinä kuohkeuttamattoman koejäsenen sadon suhdeluku on 100. Tämänkään tarkastelun perusteella syväkuohkeutuksella ei

ollut merkittävää vaikutusta kasvien kasvuun. Koko 43 koesadon tutkimusaineistossa satojen suhdeluku oli syväkuohkeutetuilla aloilla keskimäärin 99.

Taulukon 5 yhteenvedossa tarkastellaan maan kuohkeutusajankautaisen kosteuden vaikutusta satotuloksiin. Siinä ovat mukana satotulokset niiltä koepaikoilta, joilla oli kaksi esikasvia. Jaottelu kuivahkoon ja kosteaan on tehty kenttien pohjamaan kosteuden perusteella (Kuva 2). Vuoden 1981 satotulosten perusteella kostean maan kuohkeuttaminen antoi paremman sadon. Kun jätetään tarkastelun ulkopuolelle Espoon kenttä, jolla syysvehnän huono talvehtiminen vaikutti todennäköisesti tuloksiin enemmän kuin kuohkeutuskoejäsenet, kuivempaan kuohkeutettu koejäsen antaa hieman paremman sadon kuin kosteampana kuohkeutettu koejäsen.

Sadon laatuun syväkuohkeutuksella ei ollut vaikutusta. Tämä käy ilmi mm. Sokerijuurikkaan tutkimuskeskuksen tekemisistä juurikasanalyyseistä (Sokerijuurikkaan tutkimuskeskus 1982). Viljelijöiden kokemukset syväkuohkeutuksesta vastasivat kenttäkoe-tuloksia. Kovin selviä myönteisiä vaikutuksia peltojen kuivatukseen tai kasvien kasvuun ei havaittu.

Tämän tutkimuksen satotulokset ovat saman suuntaiset ulkomaisten syväkuohkeutuskokeiden tulosten kanssa. Aivan kuten tässäkin kokeessa, muualla tehdyissä kokeissa syväkuohkeutuksen vaikutus viljelykasvien satoon oli yleensä vaihteleva ja harvoin tilastollisesti merkitsevä (Nilsson & Henriksen 1968, Edling et al. 1969, Larneyn & Fortunen 1986). Joissakin harvoissa tutkimuksissa syväkuohkeutus lisäsi satoa merkittävästi usean vuoden ajan (Martinovic' 1982).

3.3 Yleinen tulosten tarkastelu

Kuohkeutuksen onnistuminen edellyttää, että maa on riittävän kuivaa kuohkeutettaessa (Swain 1975, Schjønning 1986, Rolf 1987). Vaikka maan kosteuden välillä oli jopa merkitseviä eroja kuohkeutettaessa, maa ei

Taulukko 3. Viljelykasvien hehtaarisadot (kg ha⁻¹) koejakson aikana paikkakunnittain kuohkeuttamattomassa (A) ja syväkuohkeutetussa (B) koejäsenessä. Viljojen sato esitetty 15 %:n ja rypsin 9 %:n kosteudessa. Maalajit kuten Taulukossa 2.

Koepaikka	Kasvi	Sato, kg ha ⁻¹							
		1980		1981		1982			
		A	B	Kasvi	A	B	Kasvi	A	B
Ryttylä	I sj.	31200	30300	sj.	27100	28400	sj.	26000	24700
	II			sj.	26900	26700	sj.	24800	24200
Riihimäki	I			sj.	33600	33500	sj.	38600	39000
	II			sj.	32400	32100	sj.	37700	39500
Perniö, Kotipelto				sj.	31000	32800	sj.	32400	34800
Perniö, Myllypelto				sj.	32000	30000	sj.	25200	23200
Säkylä				sj.	21400	19300	sj.	28600	27400*
Nakkila				sj.	24800	22300	sj.	31800	32000
Salo				sj.	26300	20400			
Halikko				sj.	13300	15900			
Mynämäki				sj.	28700	31300			
Sokerijuurikas keskimäärin					27000	26600		30600	30600
Loppi	I peruna	19800	20100	peruna	19800	22400	peruna	24600	23800
	II			peruna	23200	24300	peruna	24900	24700
Jokioinen, HsS				s. vehnä	3190	3470	ohra	5170	5300
Anjala				ruis	2260	2580			
Espoo	I			ruis	770	1450			
	II			ruis	1140	960			
Jokioinen AS	I			ohra	2200	2500x	ohra	3810	2570
	II			ohra	960	1040	ohra	3140	2550
Mietoinen	I			s. vehnä	2420	2450	ohra	4150	3950
	II			ohra	2730	2640	ohra	4020	4170
Vihti	I			ohra	1910	1690	kaura	3650	3400
	II			ohra	2300	2000	kaura	5040	4770
Viljat keskimäärin					1990	2080		4140	3820
Kisko				rypsi	780	650			

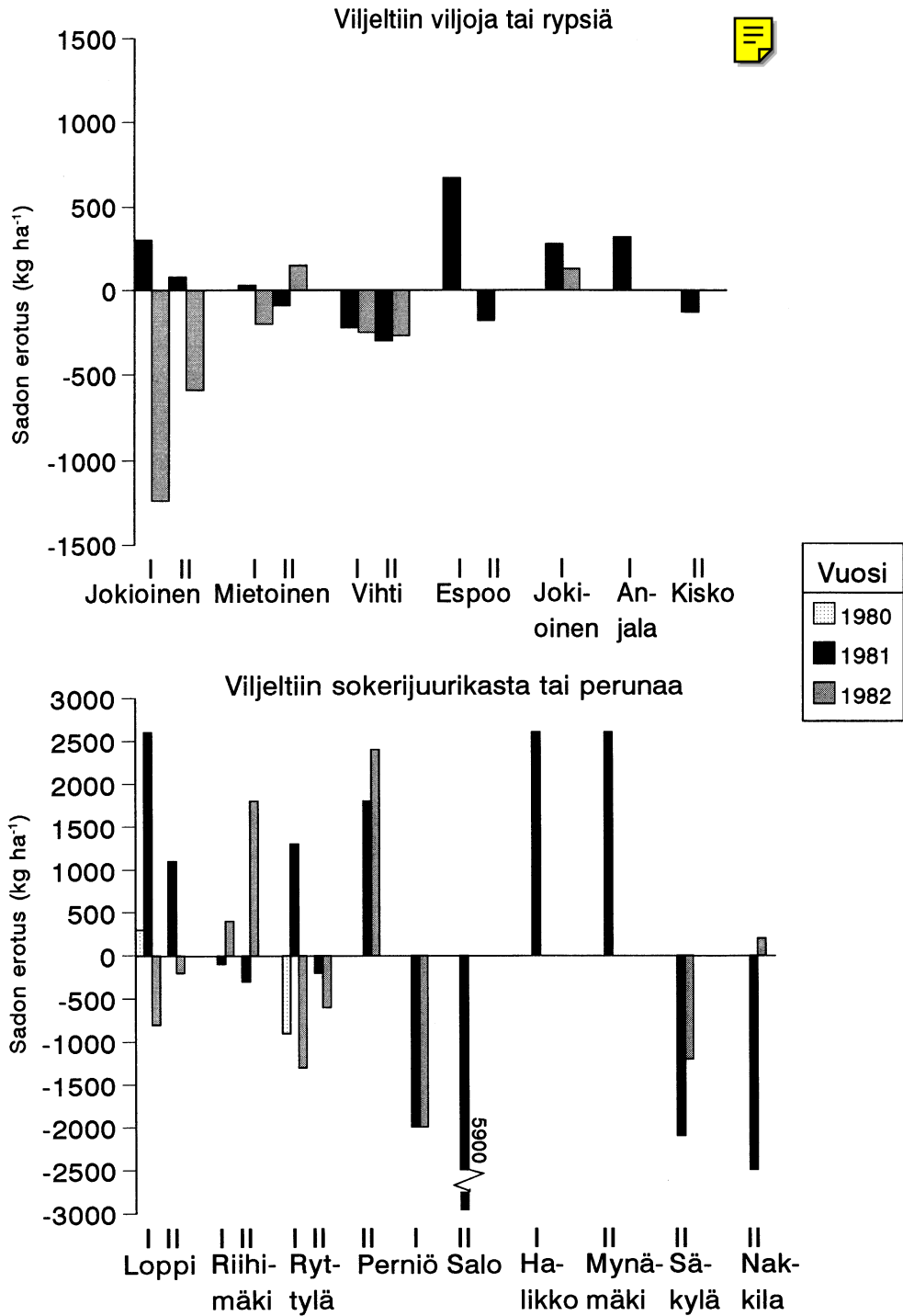
sj. = sokerijuurikas, s. vehnä = syysvehnä

I = kuohkeutettaessa kynnös tai kesanto

II = ennen kuohkeutusta ollut kasvukauden kasvuston peitossa

* = A- ja B-käsittelyjen välillä tilastollisesti merkitsevä ero 5 %:n riskitasolla

x = I- ja II-koejäsenten välillä tilastollisesti merkitsevä ero 5 %:n riskitasolla



Kuva 5. Kuohkeutetun ja kuohkeuttamattoman koejäsenen hehtaarisatojen erotus koejakson aikana. I = kuohkeutettu kasvustotonta ja II = kasvustollista maata.

Taulukko 4. Kuohkeuttamattoman koejäsenen suhteellinen sato (=100) verrattuna kuohkeutetun koejäsenen satoon viljelykasveittain ja jälkivaikutusvuosittain.

Vuosi Kasviryhmä	Koesatoja (kpl)	Sadon suhdeluku syväkuohkeutetussa koejäsenessä
1980 juurikasvit	2	99
1981 juurikasvit	13	101
viljat	11	103
1982 juurikasvit	10	100
viljat	7	92
Kaikki kokeet	43	99

Juurikasveihin laskettiin sokerijuurikas ja peruna
Viljoihin laskettiin myös rypsi

Taulukko 5. Satotulokset kuohkeutusohjeen pohjanmaan kosteuden mukaan niillä koe-paikoilla, joilla oli kaksi esikasvia. Kuohkeuttamaton koejäsen = 100. Suluissa luvut, kun Espoon kenttä jätettiin pois tarkastelusta epätasaisen syysvehnän talvehtimisen vuoksi.

Vuosi	Koesatoja (kpl)	Pohjamaan kosteus kuohkeutettaessa	
		Kuivahko	Kostea
1981	7 (6)	97 (102)	113 (100)
1982	6	96	93
Kaikki kokeet	13 (12)	97 (99)	103 (97)

ilmeisesti ollut kaikilla koe-paikoilla koko työsyyvydessä riittävän kuivaa kuohkeutuksen kannalta. Maan kosteuden lisäksi kuohkeutuksen satovaikutukseen vaikutti todennäköisesti myös muita tekijöitä. Jälkeenpäin todettiin mm. se, että ainakin yhden koelohkon ojitus ei toiminut teknisesti moitteettomasti (Halikko).

Maa lohkeili kuohkeutettaessa yleensä suuriksi kokkareiksi ja siihen jäi isoja onkaloita. Monin paikoin kuohkeutetun maan huono kantavuus haittasi viljelytöiden tekoa. Sama havainto tehtiin myös viljelijöille teh-

dyssä kyselyssä. Kuohkeutetun maan löyhä rakenne tiivistyy herkästi uudelleen, mikä on merkittävä ongelma syväkuohkeutetuilla mailla (Larney & Fortune 1986, Bennie & Botha 1986, Kooistra & Boersma 1994). Myös tässä tutkimuksessa uudelleen tiivistyminen vaikutti joillakin koekentillä (esim. Jokioisissa) varsinkin toisen seurantavuoden satotuloksiin.

Kuohkeutuksen jälkeen tiivistyneen maan rakenne voikin olla huonompi kuin ennen tiivistystä, koska kuohkeutettaessa rikotetaan maan vähäininkin luontainen ja jat-

kuva makrohuokosrakenne. Kuohkeutuksen jälkeen viljelymenetelmiä on kevennetävä mahdollisimman paljon satovaikutusten varmentamiseksi (Ellington 1986). Kuohkeutetun maan rakenteen tulisi antaa vakiintua rauhassa, jotta se kestäisi viljelystä aiheutuvan peltoliikenteen. Pelto olisi hyvä jättää esimerkiksi monivuotiselle viherkesanalle kuohkeutuksen jälkeen.

Jotta syväkuohkeutus olisi taloudellisesti kannattavaa, sen pitäisi lisätä satoa usean vuoden ajan toimenpiteen jälkeen. Näiden tulosten mukaan kuohkeutus ei vaikuttanut juurikasvien satoon enää toisena jälkivaikutusvuonna, mutta viljojen sato oli pienempi kuohkeutetuilla alueilla kuin kuohkeuttamattomilla. Kirjallisuuden mukaan kuohkeutuksen kesto vaihteli muutamasta vuodesta (Nilsson & Henriksson 1968, Larney & Fortune 1986) useisiin vuosiin (Musick et al. 1981).

Yhteenvetona näiden tulosten perusteella voitane todeta, että maan syväkuohkeu-

tus kalliina ja epävarmana menetelmänä ei ole yleispätevä ratkaisu huonorakenteisen maan ongelmiin. Joissakin yksittäistapauksissa mekaaninen syväkuohkeutus saattaa antaa hyvän tuloksen. Se edellyttää, että maa on koko kuohkeutusvyvydessä murenevan kuivaa ja kuohkeutettavaa maata ei tiivistetä uudelleen.

On syytä muistaa, että luonnossa on omat prosessinsa, jotka muokkaavat maan rakennetta. Jatkotutkimuksissa olisikin selvitettävä maan rakenteen muokkaamista biologisten prosessien avulla, kun viljelymenetelmä ja -kierto on suunniteltu kyseisten prosessien toimintaa tehostavaksi. Luonnon prosessien käyttö maan muokkauksessa on edullista ja biohuokoset ovat paljon kestävämpiä kuin mekaanisen kuohkeutuksen jättämät suuret huokoset.

Kirjallisuus

Aaltonen, E. 1929. Puolen vuosisadan takaa. Mustialan maanviljelysnäyttelystä v:lta 1871, Forssan suurjuhliilta v:lta 1879 ja maanviljelysnäyttelystä v:lta 1909. Tarkistettu ylipainos Forssan Lehdestä. p. 18.

Achilles, A. 1980. Bodenbearbeitung durch Druckluft. Landtechnik 35: 105-106.

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

Alakukku, L. 1987. Onko jankkuroinnista, syväkynnöstä tai myyräsalaoituksesta apua maan tiivistymisongelmiin? Tutkimus- ja tuotantopäivät, Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen, 28.-30.7.1987. 6 p.

Alakukku, L. & Elonen, P. 1995. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. Soil & Tillage Research 36: 141-152.

Bennie, A.T.P. & Botha, E.J.P. 1986. Effect of deep tillage and controlled traffic on root growth, water-use efficiency and yield of irrigated maize and wheat. Soil & Tillage Research 7: 85-95.

Blake, G.R., Nelson, W.W. & Allmaras, R.R. 1976. Persistence of subsoil compaction in a mollisol. Soil Science Society of America Journal 40: 943-948.

Bochert, M & Graft, R. 1981. Über die Erhaltung der Tieflockerung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 22: 268-273.

Braim, M.A., Chaney, K.R. & Hodgson, D.R. 1984. Preliminary investigation on the response of spring barley (*Hordeum sativum*) to soil cultivation with the 'paraplow'. Soil & Tillage Research 4: 277-293.

Doty, C.W., Campbell, K.B. & Reicosky, D.C. 1975. Crop response to chiseling and irrigation in soils with a compact A₂ horizon. Transaction American Society Agricultural Engineering 18: 668-672.

- Edling, P., Nilsson, N.M. & Håkansson, I.** 1969. Sju skånska försök med alvluckring och djupplöjning 1964-68. Sveriges Lantbrukshögskola, Rapporter för Jordbearbetningsavdelningen 19: 1-26.
- Ellington, A.** 1986. Effects of deep ripping, direct drilling, cypsum and lime on soils, wheat growth and yield. *Soil & Tillage Research* 8: 29-49.
- Etana, A. & Håkansson, I.** 1994. Swedish experiments on the persistence of subsoil compaction caused by vehicles with high axle load. *Soil & Tillage Research* 29: 167-172.
- Gaheen, S. & Njøs, A.** 1978. Long term effects of tractor traffic and liming on surface elevation changes, infiltration rate and surface cracking on a silty clay loam soil at Ås, Norway. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* 57 (11): 1-11.
- Hauser, V.L. & Taylor, H.M.** 1964. Evaluation of deep tillage treatments on a slowly permeable soil. *American Society Agricultural Engineers*. 7: 134-136, 141.
- Heinonen, R.** 1986. Sjävläkning i marken. Swedish University of Agricultural Sciences. Reports for the Division of Soil Management 71: 165-171.
- Henriksen, K.** 1986. Jordløsning ved dyrkning af frilandsgroen. Swedish University of Agricultural Sciences. Reports for the Division of Soil Management 71: 149-156.
- Kooistra, M.J. & Boersma, O.H.** 1994. Subsoil compaction in Dutch marine sandy loams: loosening practices and effects. *Soil & Tillage Research* 29: 237-247.
- Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1980. Touko-marraskuu. Ilmatieteenlaitoksen julkaisuja. Ilmatieteen laitos. ISSN 0303-2485. 84 p.
- Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1981. Touko-syyskuu. Ilmatieteenlaitoksen julkaisuja. Ilmatieteen laitos. ISSN 0303-2485. 60 p.
- Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1982. Touko-syyskuu. Ilmatieteenlaitoksen julkaisuja. Ilmatieteen laitos. ISSN 0303-2485. 60 p.
- Larney, F.J. & Fortune, R.A.** 1986. Recomposition effects of mouldboard ploughing and seedbed cultivations of four deep loosened soils. *Soil & Tillage Research* 8: 77-87.
- Larpes, G.** 1963. Kyntösyvyys savimailla. *Maatalous ja Koetointa* 17: 35-43.
- Larpes, G.** 1967. Jankon lannoitus. Koetointa ja käytäntö 29(9): 29-33.
- Martinovic', L.** 1982. Effect of mechanical and pneumatic subsoil loosening on the physical properties and crop yields of 3 different types of soils. Proceedings 9th Conference of International Soil Tillage Research Organization, ISTRO, Osijek Yugoslavia. June 1982, p. 496-504.
- Musick, J.T., Dusek, D.A. & Schneider, A.D.** 1981. Deep tillage of irrigated Pullman clayloam a long-term evaluation. *Transaction American Society Agricultural Engineers* 24: 1515-1519.
- Nilsson, N.M.** 1981. Plöjningsdjup och tillbredder vid höstplöjning. Sveriges Lantbrukuniversitet Rapport från Jordbearbetningsavdelning 63: 1-30.
- Nilsson, N.M. & Henriksson, L.** 1968. Alvluckringsförsök 1937-1963. Sveriges Lantbrukuniversitet Rapport från Jordbearbetningsavdelning 12: 1-32.
- Njøs, A.** 1980. Djuparbeiding av lagdelt jord virkning på jord og avling. *Aktuelt fra Landbruks avdelning opplysningstjeneste* 5: 103-120.
- Rolf, K.** 1986. Packning och packningsskador I urban miljö.- En markfysikalisk undersökning av en planteringsyta. *Stad & Land* nr. 50: 1-60.
- Rolf, K.** 1987. Teknik och metoder för rekultivering av packningsskadad mark i urban miljö. Sveriges Lantbruksuniversitet. Rapport från Institute Lantbruksteknik 116: 1-47.
- Schulte-Karrig, H.** 1980. Tieflockerung -Notwendigkeit und Möglichkeiten. *Landtechnik* 35: 108-111.
- Schjønning, P.** 1986. Jordløsningens indflydelse på jordstrukturen. Sveriges Lantbruksuniversitet Rapport från Jordbearbetningsavdelning 71: 157-164.
- Soane, G.C., Godwin, R.J. & Spoor, G.** 1986. Influence of deep loosening techniques and subsequent wheel traffic on soil structure. *Soil & Tillage Research* 8: 231-237.
- Sojka, R.E., Horne, D.J., Ross, C.W. & Baker, C.J.** 1997. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil & Tillage Research* 40: 125-144.
- Sokerijuurikkaan tutkimuskeskus. 1982. II. Kenttäkoheet 1982. p. 1-64.
- Spoor, G.** 1980. Subsoiling and deep cultivation. *Journal of Science Food and Agriculture* 31: 418-419.

Spoor, G. & Godwin 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *Journal of Agricultural Engineering Research* 23: 243-258.

Stone, D.A. 1982. The effects of subsoil loosening and deep incorporation of nutrients on yield of broad beans, cabbage, leek, potatoes and red beet. *Journal of Agricultural Science* 98: 297-306.

Swain, R.W. 1975. Subsoiling. Ministry Agriculture, Fisheries and Food Technical Bulletin 29: 189-204.

Trouse, J.A.C. 1983. Observations on under-the row subsoiling after conventional tillage. *Soil & Tillage Research* 3: 67-82.

Unger, P.W. 1979. Effects of deep tillage and profile modification on soil properties, root growth and crop yields in the United States and Canada. *Geoderma* 22: 275-295.

Wind, G.P. 1982. Research experience with mechanical soil improvement in the Netherlands. Proceedings 9th Conference International Soil Tillage Research Organization, ISTRO, Osijek, Yugoslavia. June 1982, p. 64-70.

Voorhees, W.B., Nelson, W.W. & Randall, G.W. 1986. Extent and persistence of subsoil compaction caused by heavy axle loads. *Soil Science Society of America Journal* 50: 428-433.

Syväkuohkeutuskokeiden maalajit ja kasvit koepaikoittain.



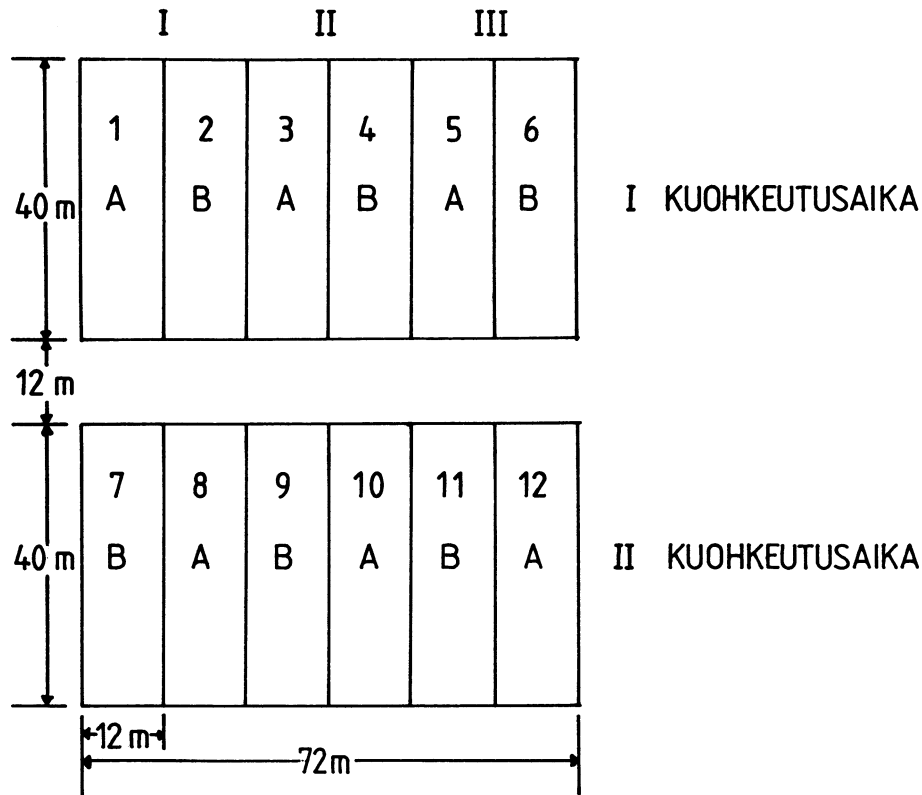
Koepaikka	Maalaji	Käsittely- päivä 1980	Esikasvi 1980	Viljelykasvi		
				1980	1981	1982
Riihimäki	HsS	12.5. 11.8.	kynnös herne		sokerijuurikas sokerijuurikas	sokerijuurikas sokerijuurikas
Loppi	He	12.5. 23.9.	kynnös peruna	peruna	peruna peruna	peruna peruna
Ryttylä	HsS	12.5. 13.11.	kynnös sokerijuurikas	sokerijuurikas	sokerijuurikas sokerijuurikas	sokerijuurikas sokerijuurikas
Jokioinen	AS	18.8. 18.8.	kesanto ohra		ohra ohra	ohra ohra
Mietoinen	AS	19.8. 19.8.	kesanto ohra		ohra/ syysvehnä	ohra ohra
Espoo	HsS	21.8. 21.8.	kesanto ohra		ruis ruis	
Vihti	LjS	21.8. 21.8.	kesanto ohra		ohra ohra	kaura kaura
Anjala	AS	5.8.	kesanto		ruis	
Jokioinen	HsS	18.8.	kesanto		syysvehnä	ohra
Perniö, Myllypelto	HsS	19.8.	kesanto		sokerijuurikas	sokerijuurikas
Halikko	AS	19.8.	kesanto		sokerijuurikas	
Perniö, Kotipelto	HsS	19.8.	syysvehnä		sokerijuurikas	sokerijuurikas
Mynämäki	HsS	18.8.	herne		sokerijuurikas	
Kisko	AS	19.8.	ohra		rypsi	
Säkylä	sHt	23.9.	nurmi		sokerijuurikas	sokerijuurikas
Nakkila	He	23.9.	herne		sokerijuurikas	sokerijuurikas
Salo	HsS	8.10.	kaura		sokerijuurikas	

HsS = hiesusavi, AS = aitosavi, sHt = savinen hieta, LjS = liejusavi, He = hiue

Kenttäkoekartta, jonka mukaan kokeet perustettiin.



PELTOJEN SYVÄKUOHKEUTUSKOE (1980-



KOEJÄSENET

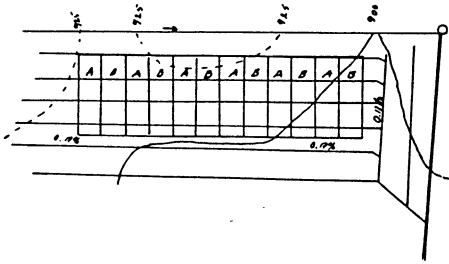
KÄSITTELYT

A = kuohkeuttamaton maa, normaalit viljelytoimet
 B = syväkuohkeutettu maa v. 1980 TLG-12 -laitteella

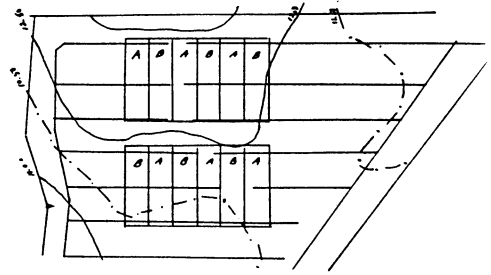
KUOHKEUTUSAIKA

I = keväällä kynnöksen kuohkeutus tai syyskesällä kesannon kuohkeutus, jankko kostea
 II = sadonkorjuun jälkeen jankko kuivahkoa keskimääräisinä vuosina

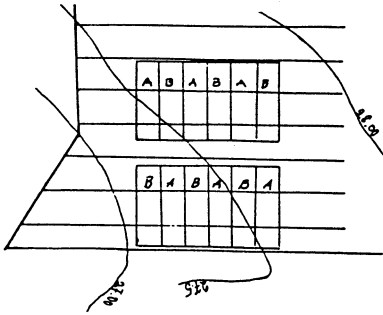
Koekenttien sijainti koepaikan salaajakartalla.



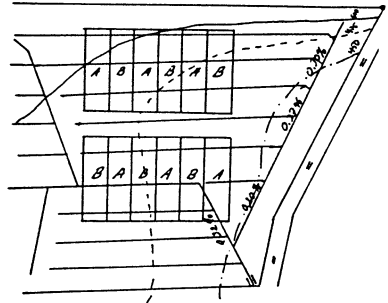
Riihimäki



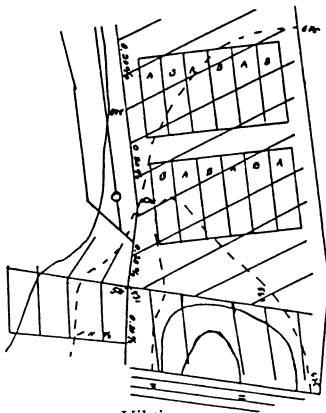
Loppi



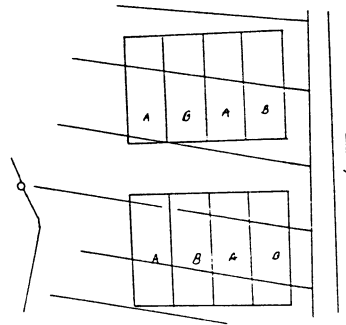
Jokioinen, AS



Espoo



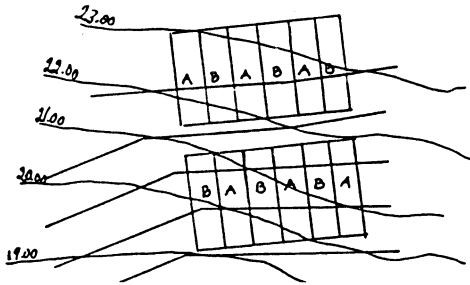
Vihti



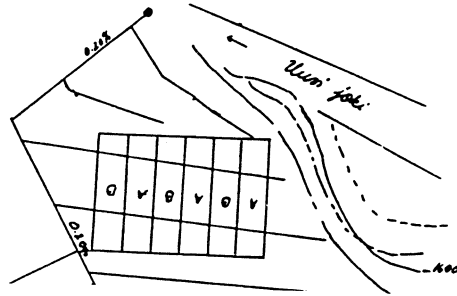
Anjala



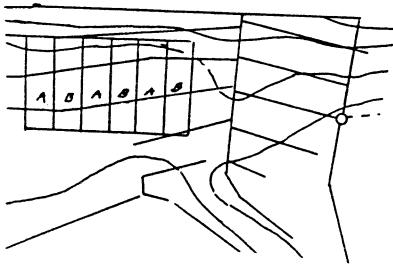
Koekenttien sijainti koepaikan salojakartalla.



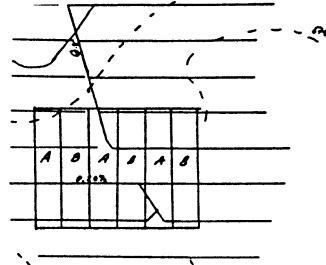
Jokioinen, HsS



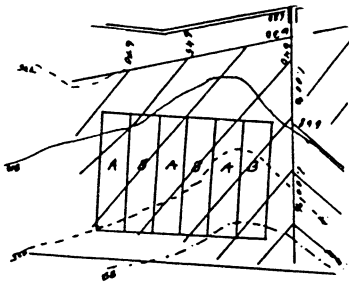
Perniö, Myllypelto



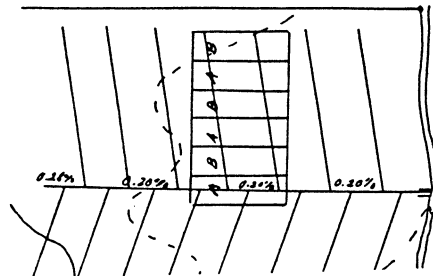
Perniö, Kotipelto



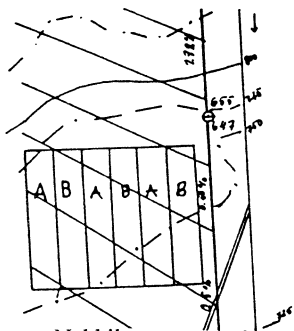
Mynämäki



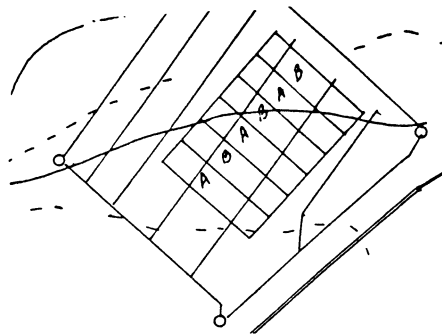
Kisko



Säkylä

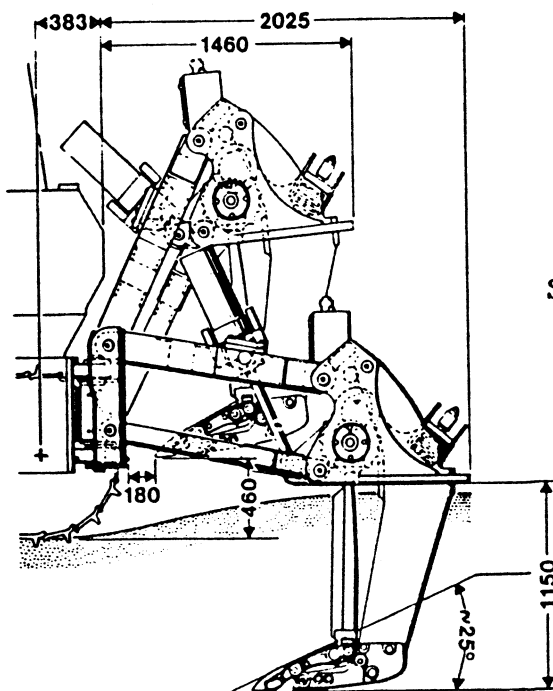


Nakkila

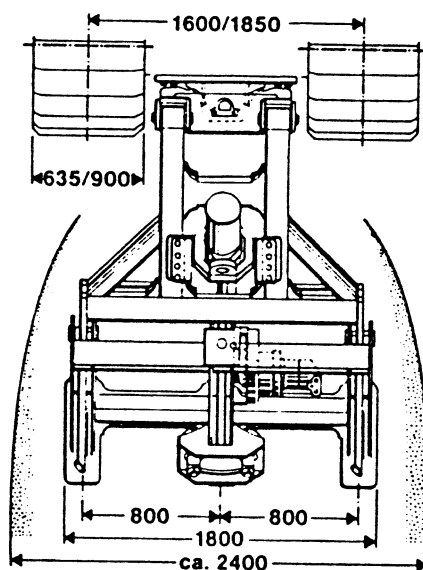


Salo

TLG12-syväkuohkeuttajan tekniset tiedot. Mitat mm:inä.



Sivukuva



Takakuva

Kuohkeuttajan paino 3200 kg

Vetokone PR12-telaketjutraktori, paino 12500 kg

		Julkaisun sarja ja numero Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 30	
		Julkaisuaika (kk ja vuosi) Joulukuu 1997	
Tekijä(t) Laura Alakukku Paavo Elonen		Tutkimushankkeen nimi	
		Toimeksiantaja(t) Maatalouden tutkimuskeskus	
Nimike Tiiviin maan syväkuohkeutus			
Tiivistelmä <p>Tiiviin maan rakennetta yritettiin parantaa mekaanisella syväkuohkeutuksella 17 kenttäkokeessa eri puolilla Etelä-Suomea. Koelohkot olivat kivennäismailla. Seitsemässä kokeessa selvitettiin maan kosteuden vaikutusta kuohkeutustulokseen. Näissä kokeissa syväkuohkeutettiin sekä kasvuston peitossa ollutta maata että kesantoa (tai kynnöstä), jonka oletettiin olevan edellistä kostempaa. Pääosa kentistä perustettiin syksyllä sadonkorjuun jälkeen. Maa kuohkeutettiin Koelbe-Gmeinder -yhtiön valmistamalla TLG12-syväkuohkeuttajalla, jossa oli aktiivisesti maata kuohkeuttava kaksois-terä. Kokeissa työsyvyys oli 70 - 80 cm. Koelat kuohkeutettiin mahdollisimman kohtisuoraan imuojia vasten.</p> <p>Kuohkeutusta seuranneena keväänä määritettiin muokkauskerroksen kosteus ennen toukokuuta. Syväkuohkeutuksen satovaikutusta seurattiin kolmen kasvukauden ajan. Ensimmäisenä vuonna kuohkeutuksen jälkeen viljeltiin perunaa ja rypsiä kumpaakin yhdellä koekentällä. Muuten koepaikoilla viljeltiin sokerijuurikasta ja viljoja.</p> <p>Syväkuohkeutus ei vaikuttanut merkittävästi muokkauskerroksen kevätkosteuteen. Se huononsi kuitenkin maan kantavuutta monin paikoin merkittävästi. Kolmen kuohkeutusta seuranneen vuoden aikana kenttäkokeista korjattiin yhteensä 43 koesatoa. Näiden tulosten mukaan syväkuohkeutus ei vaikuttanut merkittävästi juurikasvien tai viljojen sadonmuodostukseen. Keskimäärin syväkuohkeutetun ja kuohkeuttamattoman koejäsenen satojen välinen ero oli 1 prosenttiyksikkö.</p> <p>Syväkuohkeutuksen onnistuminen edellyttää, että maa on kuivaa koko työsyvyudessa. Kuohkeutustulokseen vaikutinkin todennäköisesti se, että maa ei kuivunut kuohkeutuskesänä kunnolla. Lisäksi osa kenttäkokeista jouduttiin kuohkeuttamaan myöhään syksyllä, jolloin runsaat syysateet olivat kastelleet maan. Myös maan tiivistyminen uudelleen kuohkeutuksen jälkeen vaikutti joissakin kenttäkokeissa satotuloksiin. Yhteenvetona voidaan sanoa, että mekaaninen syväkuohkeutus kalliina ja epävarmana menetelmänä tuskin kannattaa. Jatkotutkimuksissa olisikin selvítettävä maan rakenteen muokkaamista biologisten prosessien avulla, kun viljelymenetelmä ja -kierto on suunniteltu kyseisten prosessien toimintaa tehostavaksi.</p>			
Avainsanat kivennäismaa, sokerijuurikas, vilja, jälkivaikutus, maan kuivuminen			
Toimintayksikkö Kasvintuotannon tutkimuslaitos, 31600 Jokioinen			
ISSN 1238-9935	ISBN 951-729-504-9	<input type="checkbox"/> Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä	
Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN Puh. (03) 4188 7502 Telekopio (03) 4188 339		Sivuja 22 s. + 4 liitettä	Hinta 40,00 mk + 8 % alv

Vammalan Kirjapaino Oy 1997
ISBN 951-729-504-9
9ISSN 1238-9935