



MTTK

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

Tiedote 13/89

LAURA ALAKUKKU
Kasvintuotannon tutkimuslaitos

**Raskaan akselikuormituksen aiheuttama
maan tiivistyminen**

LAURA ALAKUKKU ja PAAVO ELONEN
Kasvintuotannon tutkimuslaitos

**Raskaan akselikuormituksen jälkivaikutus
peltokasvien satoon**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
TIEDOTE 13/89

LAURA ALAKUKKU

Raskaan akselikuormituksen aiheuttama maan tiivistyminen
(s. 1 - 41)

LAURA ALAKUKKU JA PAAVO ELONEN

Raskaan akselikuormituksen jälkivaikutus peltokasvien satoon
(s. 42 - 83)

Kasvintuotannon tutkimuslaitos
Maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusala
31600 JOKIOINEN
(916) 88 111

JOKIOINEN 1989

ISSN 0359-7652

Laura Alakukku

RASKAAN AKSELIKUORMITUKSEN AIHEUTTAMA MAAN TIIVISTYMINEN

Sisällysluettelo

	Sivu
ESIPUHE	1
TIIVISTELMÄ	2
1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	6
2.1. Koekentät	6
2.2. Koejärjestelyt ja kenttäkokeiden perustus	7
2.3. Koekenttien viljely ja hoito	9
2.4. Kasvukauden sääolot koejakson aikana	10
2.5. Aineiston keruu ja käsittely	11
3. TULOKSET	14
3.1. Maan huokostilavuus ja -jakauma	14
3.2. Jokioisten savimaan vääntömomenttimittaukset	22
3.3. Maan mekaaninen vastus	23
3.4. Jokioisten savimaan vedenläpäisykyky	28
4. TULOSTEN TARKASTELU	29
JOHTOPÄÄTÖKSET	34
KIRJALLISUUSLUETTELO	35
LIITTEET	41

ESIPUHE

Vuonna 1981 alkoi Maatalouden tutkimuskeskuksen maanviljelyskemian ja -fysiikan osastolla tutkimus raskaan peltoliikenteen vaikutuksista maan rakenteeseen. Tässä tiedotteessa käsitellään kuuden ensimmäisen koevuoden tulokset.

Kenttäkokeet suunnitteli ja perusti professori Paavo Elonen. Hänelle esitän parhaat kiitokseni saamistani resursseista sekä hyödyllisistä neuvoista työn aikana. Kiitokset myös Simo Kivisaarelle, joka vastasi kokeiden hoidosta kolme ensimmäistä koevuotta.

Jokioisissa kenttien hoidosta vastasivat laitoksen kenttämestarit Risto Tannin johdolla. Risto Seppälä vastasi maanäytteiden otosta ja analysoinnista. Julkaisun viimeistelivät Rauha Kallio, Sinikka Salminen ja Anne Väveri. Sata-Hämeen kentän hoidosta vastasi tutkimusaseman henkilökunta aluksi Kalle Rinteen ja myöhemmin Tapani Kangasmäen johdolla. Lämpimät kiitokseni edellä mainituille sekä kaikille muille, jotka eri tavoin osallistuivat tutkimuksen toteutukseen. Kiitokset myös Martti Erjalalle Sokerijuurikkaan tutkimuskeskuksesta penetrometrin lainasta.

Laura Alakukku

TIIVISTELMÄ

Maataloudessa käytettävien koneiden ja laitteiden akselipainot ovat nousseet viime vuosikymmeninä voimakkaasti. Maatalouden tutkimuskeskuksen maanviljelyskemian ja -fysiikan osastolla alettiin vuonna 1981 selvittää kenttäkokeiden avulla suuren akselipainon aiheuttaman maan tiivistymisen syvyyttä, kestoja ja vaikutuksia maan kasvukuntoon. Tutkimus oli osa kansainvälistä koesarjaa, johon kuuluvia kokeita oli vastaavilla ilmastoalueilla Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa.

Kenttäkokeet perustettiin syksyllä 1981, jolloin maa tiivistettiin n. 16 tn:n teliakselipainolla joko kerran tai neljästi. Koekenttiä oli kolme. Jokioisissa oli kaksi kenttää, joista toisen maalaji oli muokkauskerroksessa multava hiuesavi (savesta 48 %) ja sitä syvemmällä aitosavi (savesta 64 %). Toinen kenttä oli 40 - 50 cm:n syvyyteen savettua turvetta ja sen alapuolella liejua. Kolmas koekenttä perustettiin Sata-Hämeen tutkimusasemalle Mouhijärvelle hiuesavimaalle, jonka savespitoisuus oli 30 cm:n syvyyteen 30 % ja siitä syvemmällä keskimäärin 45 %. Vastaavissa syvyyksissä hiesupitoisuus oli 47 ja 42 %.

Tutkimustulosten mukaan raskas kuormitus kosteahkolla pellolla tiivistä sekä savi- että eloperäistä maata ainakin puolen metrin syvyyteen. Tiivistymä säilyi mitattavana 30 - 50 cm:n syvyydessä koko 6-vuotisen tutkimusjakson ajan. Kyntökerroksesta tiivistymä hävisi vähitellen tänä aikana.

Raskaan akselikuormituksen aiheuttama maan tiivistyminen havaittiin suurten huokosten (maan ilmatilavuuden) pienenemisenä, Jokioisten savimaan vedenläpäisykyvyn selvänä heikkenemisenä sekä maan mekaanisen vastuksen lisääntymisenä. Kolmevuotinen nurmi paransi näiden tulosten mukaan tiivistyneen savimaan (Jokioisissa) kasvukuntoa 40 cm:n syvyyteen.

1. JOHDANTO

Viljelymenetelmien kehittyessä ja maatalousväestön vähetessä on maatalouden konekapasiteetti kasvanut viime vuosikymmeninä huomattavasti. Samanaikaisesti ovat myös koneiden ja laitteiden painot nousseet. Tämä on lisännyt maahan kohdistuvaa ulkoista kuormitusta, jonka voimistuessa maan haitallisen tiivistymisen riski on kasvanut.

Koneista ja laitteista välittyvät voimat kuormittavat maata ja saattavat rikkoa sille ominaisen rakenteen. Maan tiivistyminen on yksi seuraus tällaisesta rakenteen deformaatiosta. Tiivistymisen syntyyn ja voimakkuuteen vaikuttavat maan ominaisuudet sekä sen käsittelyhetkinen tila kuormituksen voimakkuuden ja jakautumisen ohella.

Tiivistyminen muuttaa maan huokoisuutta ja huokoisuussuhteita. Se kohdistuu erityisesti maan suuriin huokosiin, joiden osuus huokosjakaumassa pienenee (mm. SOMMER 1976 ja AURA 1983). Rakennemuutos vaikuttaa puolestaan maan kasvukuntoon ja viljelyominaisuuksiin, joiden kautta tiivistymisen seuraukset näkyvät kasvien kasvussa ja sadossa.

Suurten huokosten hävitessä kyllästetyn maan vedenläpäisykyky hidastuu (ERIKSSON 1976), mikä voi heikentää ojituksen tehokkuutta huomattavasti. Veden hidas imeytyminen maahan voi puolestaan lisätä pintavaluntaa ja eroosiota (YOUNG ja VOORHEES 1982). Tiivistyminen hidastaa myös maan ja ilman välistä kaasujen vaihtoa (CURRIE 1984), jolloin voi tapahtua mm. denitrifikaatiota (PONNAMPERUMA 1972). Suuret huokokset ovat muun ohella kasvien juurten kasvuväyliä. Tiivistyminen voikin lisätä maan mekaanista kasvuvastusta tuntuvasti (EAVIS 1972).

Maan haitallisen tiivistymisen seurauksia näkyy yhä useammin viljelmillä. Tiivistyminen aiheuttaa monesti tuntuvia sato tappioita (BLAKE ym. 1960, RAGHAVAN ym. 1979, ELONEN 1980, HÅKANSSON 1982). Se haittaa myös viljelyä (esimerkiksi ojituksen toiminta) ja lisää energiakustannuksia, koska tiiviin maan vetovastus on suuri ja se muokkautuu huonosti (VOORHEES 1980).

Tiivistyminen ei ole aina haitallista, vaan esimerkiksi siemenen itämiskosteuden turvaamiseksi kylvömuokkauskerroksen lievä tiiveys on eduksi. Varsinkin kuivina kasvukausina maan kevyt tiivistäminen on lisännyt merkittävästi satoa. (ERIKSSON ym. 1974, VOORHEES ym. 1985). Optimi tiiveysaste vaihtelee kuitenkin mm. sääolojen mukaan, minkä vuoksi kulloinkin sopivan tiivistyksen ennakointi on mahdotonta. Parasta onkin välttää turhaa tiivistämistä.

Koneiden painon nousun aiheuttama lisäkuormitus yritetään usein eliminoida sillä, että pidetään pintapaine entisellään esimerkiksi muuttamalla rengasvarustusta. Teoreettisesti on kuitenkin osoitettu, että paine kulkeutuu homogeenisessa maassa sitä syvemmälle, mitä suurempi rengaskuorma on (SÖHNE 1952, CARPENTER ym. 1985). Sama asia on havaittu myös käytännön mittauksissa (BLACKWELL ja SOANE 1981, DICKSON ja SMITH 1986, BOLLING 1986). SÖHNE (1958) onkin todennut, että maan tiivistyminen riippuu pintaosissa pintapaineesta ja syvällä akselipainosta (rengaskuormasta).

Akselipainon ohella myös muut tekijät vaikuttavat paineen jakautumiseen sekä tiivistymisen ulottuvuuteen maassa. Varsinkin maan kosteus on tärkeä vaikuttaja. Kuivassa maassa paine leviää sivuttaissuunnassa (SÖHNE 1953), mutta kosteassa maassa paine kulkeutuu vertikaalisesti eli syvälle (WEAVER ja JAMISON 1951, HORN ym. 1987). Maan tiiveyden vaihtelu muuttaa myös paineen jakautumista, mutta siitä huolimatta suurin akselipaino on kuormittanut maata syvimmälle (TAYLOR ym. 1980). Tiivistyksen toistollakin on merkitystä, sillä ajokertojen lisääntyessä maan tiivistyminen on voimistunut ja syventynyt (SOMMER ja ALTEMÜLLER 1982, GAMEDA ym. 1987a).

Kokonaiskuormaa voidaan jakaa lisäämällä akselien määrää. Ruotsalaisissa mittauksissa 10 tn:n teliakselipaino aiheutti maassa vähemmän elastista liikehdintää kuin 8 tn:n kuorma yhdellä akselilla (DANFORS 1974). Kokonaiskuormaa voidaan tämän mukaan jossakin määrin myös kasvattaa, kun on useita akseleita. Maan ominaisuuksia ja muita tekijöitä ei kuitenkaan sovi unohtaa. DANFORSIN (1974) mukaan kosteassa savi-

maassa jo 6 tn:n kuorma yhdellä akselilla ja 8 tn:n teliakse-
lipaino tiivistivät jankkoa, mutta kuivissa oloissa akseli-
paino sai olla jonkin verran edellisiä korkeampi.

Tieliikenteessä suurin sallittu paino yhdellä paripyöräisellä
akselilla on 10 tn ja teliakselilla 16 - 19 tn. Tätä suuruus-
luokkaa olevilla akselipainoilla pellolla voidaan ajaa esi-
merkiksi salaojitettaessa, kalkittaessa tai vaikkapa liete-
lantaa levitettäessä. Melko usein kyseisiä toimenpiteitä jou-
dutaan tekemään myös silloin, kun maa on märkää.

Savimaa on kokeissa tiivistynyt yli 10 tn:n akselipainoilla
puolen metrin syvyyteen (HÅKANSSON 1979, GAMEDA ym. 1984).
Myös karkeat maat ovat tiivistyneet vähintään samaan syvyy-
teen, kun käytetään suuria akselipainoja (DUMBECK 1984, van
den AKKER 1988). Orgaaninen maa on puolestaan tiivistynyt jo
alle 10 tn:n akselipainolla 50 cm:n syvyyteen (SCHMIDT ja
ROHDE 1986). Akselipainon ei aina tarvitsekaan olla kovin
suuri tiivistääkseen syvältä, vaan sopivissa oloissa jo alle
5 tn:n paino on tiivistänyt kivennäismaankin kyntökerrosta
syvemmältä (VOORHEES ym. 1978, SVENSSON 1987).

Maata kuohkeuttavat sekä mekaaninen kuohkeutus että luonnon
prosessit. Suomalaisissa oloissa savimaan kyntökerroksen ra-
kenne on toipunut lähes täysin talven aikana keväisen trakto-
rilla-ajon aiheuttamasta tiivistymisestä (ELONEN 1980, AURA
1983). Vuosittainen routa ja kyntö eivät kuitenkaan aina pys-
ty palauttamaan tiivistyneen muokkauskerroksen rakennetta
nopeasti. Voimakkaan tiivistymän häviäminen kyntökerroksesta
on ruotsalaisissa kokeissa vaatinut useita vuosia (HÅKANSSON
ja DANFORS 1981). Luonnontilassa kuohkeutuminen saattaa olla
vielä hitaampaa, sillä muokkaamattomassa metsämaassa tii-
vistymä on säilynyt 15 cm:n syvyydessä yli 20 vuotta (FROE-
LICH ym. 1985).

Maan mekaaninen syväkuohkeutus ei antanut suomalaisissa
oloissa kovin rohkaisevia tuloksia (ALAKUKKU ja ELONEN 1989).
Syvälle ulottuva maan tiivistymä jääkin usein ilmastollis-
ten vaihteluiden, kasvien juurten ja maan eliöstön kuohkeu-
tettavaksi. Ne eivät ole intensiivisen viljelyn yhteydessä

kuitenkaan kuohkeuttaneet maata kovin nopeasti. Savimailla tehdyissä kokeissa puolen metrin syvyyteen ulottuva tiivistymä ei hävinnyt kyntösyvyyden alapuolelta 7 - 9 vuoden aikana (BLAKE ym. 1976, HÅKANSSON 1985). Karkeissa maissa tiivistymässä ei tapahtunut muutosta kuusi vuotta kestäneen seurannan aikana (van OUWERKERK 1968, POLLARD ja WEBSTER 1978). Muokauskerroksen alapuolella tiivistymä voikin olla hyvin pitkäikäinen, mikä on herättänyt huolestumista peltojen viljelykelpoisuuden säilymisestä.

Peltoviljelyssä käytettävien koneiden ja laitteiden akselipainot nousevat Suomessakin jatkuvasti. MTTK:n maanviljelyskemian ja -fysiikan osastolla perustettiin tähän liittyen syksyllä 1981 kolme kenttäkoetta, joiden avulla haluttiin selvittää suuren akselipainon vaikutusta tiivistymisen ulottuvuuteen ja keston eri maalajeilla. Koevuosien aikana seurattiin myös tiivistymisen vaikutusta maan viljelyominaisuuksiin sekä kasvien kehitykseen, sadon määrään ja laatuun.

Koe oli osa kansainvälistä tutkimusta, johon kuului kaikkiaan 26 kenttäkoetta. Suomen lisäksi koekenttiä oli Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Hollannissa, Kanadassa ja Yhdysvalloissa. Osanottajamaista kootun työryhmän (International Working Group on Soil Compaction by Vehicles with High Axle Load) tavoitteena oli määritellä koesarjan antaman pohjatiedon avulla suositus peltoviljelyyn sopivien akselipainojen ylärajoista (ANON. 1980, HÅKANSSON ym. 1987).

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Koekentät

Kokeeseen kuului kolme kenttäkoetta, joista yksi oli Sata-Hämeen tutkimusasemalla Mouhijärvellä ja kaksi muuta Maatalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisissa. Sata-Hämeen kenttä oli 30 cm:n syvyyteen multavaa hiuesavea, jossa oli runsaasti hiesua. Syvemmältä maa oli hiesusavea. Jokioisissa Ojaisten lohkon kentän muokauskerros oli multavaa hiuesavea ja sitä syvemmältä maa oli aitosavea. Toinen Jokioisten koekentistä

perustettiin Kuuman peltolohkelle. Se oli 40 - 50 cm:n syvyyteen savettua saraturvetta, jonka alapuolella maalaji muuttui liejuksi (taulukko 1).

Maa-analyysit tehtiin Maantutkimusosastolla. Kivennäisaineksen lajitekoostumus määritettiin ELOSEN (1971) pipettimenetelmällä ja orgaaninen hiili SIPPOLAN (1982) kuvaamalla kuivapoltolla (Leco CR-12 laitteella). Kivennäismaat nimettiin JUUSELAN ja WÄREEN (1956) maalajikolmion mukaan. Muokkauskerroksen multavuusluokituksessa käytettiin orgaanisen hiilen kertoimena 1,724 (ALLISON 1969).

Taulukko 1. Koekenttien maan orgaanisen hiilen pitoisuus (%) ja lajitekoostumus (%) 0 - 60 cm:n syvyydessä.

syvyys, cm	Orgaaninen hiili, %		Ojainen			
	Kuuma	Ojainen	saves < 2	hiesu 2 - 20	hieta 20 - 200	hiekkä 200 - 2000 μm
0 - 10	19,0	3,0	48	26	17	9
10 - 20	19,1	3,0	48	26	17	9
20 - 30	19,3	2,5	49	26	17	8
30 - 40	18,9	0,7	62	22	13	3
40 - 50	10,9	0,5	66	22	11	1
50 - 60	6,1	0,3	65	23	12	-
			Mouhijärvi			
0 - 20		2,8	30	47	18	5
20 - 30		2,0	32	46	18	4
30 - 40		0,5	40	44	13	3
40 - 50		0,4	47	39	12	2
50 - 60		0,4	49	42	8	1

2.2. Koejärjestelyt ja kenttäkokeiden perustus

Kenttäkokeissa oli kolme tiivistämiskäsittelyä: tiivistämätön (A_0), kerra (A_1) ja neljästi tiivistetty (A_2). Kerranteita oli Jokioisten savimaalla ja Mouhijärvellä kuusi sekä Jokioisten multamaalla kolme. Toisena koejäsenenä oli viljelykasvi (B). Jokioisissa savimaalla viljeltiin neljää ja muilla koekentillä kahta kasvia. Kokeet perustettiin liittessä 1 esitettyjen kenttäkoekarttojen mukaan.

Kenttäkokeet perustettiin syksyllä 1981, jolloin osa kesanto-
na olleesta (Jokioinen) tai rukiin jälkeen kynnetystä ja äes-
tetyistä (Mouhijärvi) koealasta tiivistettiin traktori-perä-
vaunu-yhdistelmällä. Tiivistettäessä perävaunun pyöränjäljet
ajettiin vieriviereen, joten kuormitus peitti ruudun kaut-
taaltaan.

Jokioisissa tiivistävän yhdistelmän kokonaispaino oli savi-
maalla 27 tn, josta 19 tn oli kahdeksanrenkaisen perävaunun
teliakselilla. Multamaalla kokonaispaino oli 23 tn ja teliak-
selipaino 16 tn. Vetotraktori oli Fiat 1000, jonka oma paino
oli 4,5 tn. Perävaunun rengaskoko oli 10-20 ja rengaspaine
700 kPa. Traktorin rengaskoko oli takana 16,9-38 ja edessä
12,6-28 sekä vastaavat rengaspaineet 250 ja 150 kPa.

Mouhijärvellä vetokone oli Valmet 1102 takavetotraktori, jon-
ka paino oli valmistajan mukaan 3,9 tn. Se veti kalkinlevi-
tysvaunua, jonka teliakselipaino oli noin 16 tn.

Maa oli kaikissa kokeissa muokkauksen jäljiltä pinnasta löy-
hää. Tiivistäjän jäljiltä ajourien syvyys oli Jokioisissa
ensimmäisen ajokerran jälkeen n. 10 - 15 cm. Mouhijärven
kentällä ajojäljet olivat matalammat kuin Jokioisissa. Kai-
killa koekentillä ensimmäinen ajokerta tiivisti pintamaan
niin, että seuraavilla ajokerroilla tiivistäjän uppouma jäi
vähäiseksi. Tiivistyksen jälkeen koekentät kynnettiin.

Pintapaineita tai renkaiden ja maan välisiä kontaktialoja ei
tiivistämisen yhteydessä mitattu. Kirjallisuudessa esiinty-
vien tulosten mukaan rengaspaine ei saisi ylittää 100 kPa,
jos halutaan välttää voimakasta tiivistymistä (ERIKSSON ym.
1974, PERDOK ja ARTS 1987). Tämän perusteella arvioituna
maahan kohdistui teliakselilta huomattavan suuri paine.

Tiivistettäessä Jokioisten savimaa oli muokauskerroksessa
hieman kuivempaa kuin kenttäkapasiteetissa ja sitä syvemältä
lähellä kenttäkapasiteettia. Multamaa oli kokonaisuudessaan
kosteaa, mutta pintamaan kosteus oli lähellä kenttäkapasi-
teettia. Mouhijärvellä muokauskerros oli melko märkä, mutta

sen alapuolella maa oli lähellä kenttäkapasiteettia (taulukko 2). Maan kosteus kenttäkapasiteetissa laskettiin vuosina 1982 - 1984 tehdyistä huokosjakaumamäärityksistä tiivistämättömien ruutujen keskiarvona.

Taulukko 2. Maan kosteus painoprosentteina kuivapainosta tiivistämishetkellä 0 - 60 cm:n syvyydessä. Keskiarvot luotettavuusrajoineen 5 %:n riskitasolla, suluissa maan kosteus painoprosentteina kenttäkapasiteetissa (-10 kPa:n potentiaalissa).

Syvyys, cm	Jokioinen		Mouhijärvi
	Savimaa	Eloperäinen maa	Savimaa
0 - 10	26 \pm 1 (34)	76 \pm 6 (76)	35 \pm 3 (29)
10 - 20	31 \pm 1 (33)	96 \pm 13 (72)	37 \pm 2 (29)
20 - 30	35 \pm 3 (33)	92 \pm 5 (75)	32 \pm 5 (28)
30 - 40	30 \pm 2 (29)	112 \pm 16 (96)	25 \pm 4 (21)
40 - 50	33 \pm 1 (32)	123 \pm 24 (94)	24 \pm 4 (25)
50 - 60	33 \pm 1 (32)	90 \pm 5 (78)	25 \pm 2 (29)

2.3. Koekenttien viljely ja hoito

Jokioisissa savimaalla viljeltiin ohraa, kauraa ja kevätvehnää monokulttuurina koko koejakson ajan. Neljäntenä tekijänä oli viljelykierto, jossa viljeltiin rypsiä, ohraa (suojaviljana), nurmea (3v.) ja kevätvehnää. Multamaalla viljeltiin koejakson neljä ensimmäistä vuotta ohraa ja rypsiä. Sen jälkeen viljeltiin koko koealalla ohraa. Mouhijärvellä viljelykierto oli koko koejakson ajan sama: ohra-kaura.

Viljelytoimet tehtiin tavallisilla maatalouskoneilla normaalia peltoviljelyä vastaavina aikoina. Kostealla maalla ajoa vältettiin. Ajolinjat valittiin siten, että kuormitus jakautui mahdollisimman tasaisesti koealalle. Viljelytöihin käytettyjen koneiden akselipainot eivät todennäköisesti ylittä-

neet painonsiirrosta huolimatta 3 - 4 tonnia. Renkaiden ilmanpaine oli 100 - 150 kPa. Liitteessä 2 on esitetty viljelytöissä käytettyjen koneiden teknisiä tietoja.

Peltotöissä tiivistyksen jälkeen käytettyjen koneiden akselipainot olivat kevyitä verrattuna tiivistäjään. Varsinaisen tiivistyksen jälkeen mahdollisesti tapahtunut tiivistyminen rajoittui muiden peltotöiden kuin kynnön osalta ilmeisesti muokkauskerrokseen, sillä AURAn (1983) mukaan jankko tiivistyi 3 tn:n akselikuormitusta käytettäessä vain maan ollessa erittäin märkää.

2.4. Kasvukauden sääolot koejakson aikana

Jokioisissa satoi kaikkina koejakson kasvukausina keskimääräistä enemmän (taulukko 1, sivu 48). Tästä huolimatta useina kesinä oli poutajaksoja, joiden aikana maa kuivui ja halkeili melko syvältä. Esimerkiksi vuosina 1982 ja 1983 savimaalta mitattiin jopa 70 cm:n syvyyteen ulottuvia halkeamia. Multaakin halkeili kuivien jaksojen aikana, mutta halkeilu oli lievää savimaahan verrattuna. Kasvukauden lämpötila oli koejakson aikana lähellä pitkän aikavälin keskiarvoa lukuunottamatta vuosia 1983 ja 1987 (taulukko 1, sivu 48).

Jokioisissa keskimääräinen roudan maksimisyvyys oli vuosina 1955 - 1975 63 cm (SOVERI ja VARJO 1977). Koejakson aikana kivennäismaa routaantui Jokioisissa kyntökerrosta syvemältä kaikkina muina talvina kuin 1981/82. Talvella 1982/83 saviin koekentällä tehdyissä mittauksissa routa ulottui lähes 80 cm:n syvyyteen. Eloperäisellä maalla routahavaintoja ei tehty muulloin kuin talvella 1986/87, jolloin roudan maksimisyvyys oli 90 cm (taulukko 3).

Taulukko 3. Roudan maksimisyvyys (cm) kivennäismaassa koejakson aikana koepaikkoittain.

Talvi	Jokioinen		Mouhijärvi ^{c)}	
	Nurmi ^{a)}	Kynnös ^{b)}	Nurmi	Kynnös
1981/82	16			
1982/83	61	52		
1983/84	34	50	17	28
1984/85	64	83	43	50
1985/86	52	56	20	34
1986/87	105	104	77	52

a) tiedot MTTK:n säähavaintorekisteristä

b) tiedot Kasvinviljelyosaston säähavaintokentältä

c) Mouhijärven tutkimusaseman mittaustuloksia

Mouhijärvellä kasvukausi 1982 oli erittäin kuiva varsinkin kesä-heinäkuussa, jolloin satoi 79 mm vähemmän kuin keskimäärin (taulukko 1, sivu 48). Vuosina 1983 - 1985 kasvukausi oli hieman keskimääräistä sateisempi. Kahtena viimeisenä koevuonna satoi runsaasti, mutta vuonna 1986 kesäkuu ja vuonna 1987 heinäkuu olivat huomattavasti keskimääräistä kuivempia. Lämpötilan osalta kasvukaudet olivat muuten lähellä pitkän aikavälin keskiarvoa, mutta vuosi 1987 oli viileä. Routahavainnot Mouhijärveltä oli käytettävissä vuodesta 1984 alkaen. Niiden mukaan maa routaantui parhaimmillaan puolen metrin syvyyteen (taulukko 3).

2.5. Aineiston keruu ja käsittely

Maasta tehtiin määrittelyksiä, joiden avulla voitiin tarkastella tiivistymisen ulottuvuutta ja kestoaikaa maan profiilissa. Samalla saatiin tietoa tiivistymisen vaikutuksista maan rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Tässä tiedotteessa esitetään tulokset vuosilta 1982 - 1987. Tiivistymän jälkivaikutusta maan rakenteeseen seurataan edelleen.

Maan huokostilavuuden ja -jakauman määrittämiseksi otettiin häiriintymättömiä maanäytteitä 200 cm^3 :n lieriöihin. Ruudusta kerättiin näytteet 0 - 60 cm:n syvyydestä 10 cm:n näytteenottoväleittäin. Rinnakkaisnäytteitä otettiin neljä joka syvyydestä, jolloin ruudusta saatiin 24 lieriönäytettä. Näytteenottosyvyys mitattiin kunakin vuonna senhetkisestä maanpinnasta.

Vuosina 1982 ja 1983 maanäytteitä kerättiin tiivistämättömästä ja neljästi tiivistetystä koejäsenestä. Vuonna 1984 otettiin näytteitä myös kerran tiivistetystä koejäsenestä. Jokioisissa savimaan kokeesta kerättiin näytteitä vuonna 1982 yhdestä sekä vuonna 1983 ja 1984 kahdesta kerranteesta. Eloperäisestä maasta näytteet otettiin kaikkina kolmena vuonna yhdestä kerranteesta. Mouhijärveltä kerättiin maanäytteet vain vuonna 1983 yhdestä kerranteesta.

Kerätty aineisto oli edustava näytteenottokohdittain. Näytteenottokerranteet valittiin satunnaisesti kentältä. Jokioisten osalta kolmen vuoden aikana saadut tulokset antanevat mahdollisuuden johtopäätöksiin. Jokioisten kerran tiivistetyn koejäsenen ja Mouhijärven kentän tulokset, jotka perustuivat yhtenä vuonna kerättyihin näytteisiin, olivat vain viitteellisiä.

Ennen huokoisuussuhteiden määrittämistä näytteiden kostutettiin noin kaksi viikkoa. Sen jälkeen ne siirrettiin painekattilaan, jossa määritettiin maan kosteus -10 kPa:n potentiaalissa ylipainemenetelmällä (RICHARDS ja FIREMAN 1943, RICHARDS 1965). Tasaantumisen jälkeen näytteet punnittiin ja kuivattiin $105 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa kuivapainon määrittämiseksi. Lopuksi määritettiin maan tiheys pyknometrinen menetelmällä (BLAKE 1965). Mittaustulosten perusteella laskettiin maan huokostilavuus sekä huokoisuussuhteet ko. potentiaalitasolla tilavuusprosentteina.

Vesipotentialitasoa vastaavien huokosten halkaisija (d , cm) voitiin laskea maaveden kapillaaripotentialin itseisarvon (h , vesipatsaan korkeus cm:nä, $100 \text{ cm} = 10 \text{ kPa}$) avulla kaavasta (LEAMER ja LUTZ 1940):

$$d = 0,3/h \quad (1)$$

Syksyllä 1982 mitattiin Jokioisten savimaan koekentältä maan vääntövastus tiivistämättömästä ja neljästi tiivistetystä koejäsenestä. Mittausväline oli maahan painettava siipikaira, jota väännettiin momenttiavaimella ja suurin momenttilukema kirjattiin. Kairan siivekkeen korkeus oli 10 cm ja etäisyys keskustasta 2,5 cm (SCHAFFER 1960). Molemmista koejäsenistä tehtiin jokaisesta kerranteesta yhdeksän mittausta ruudun päästä 10, 20, 30 ja 40 cm:n syvyydestä. Laskennassa käytettiin ruudun momenttilukemana ruudusta mitattujen arvojen keskiarvoa.

Vuonna 1987 kaikilta koekentiltä mitattiin maan mekaaninen vastus (MPa, $1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$) kartiopenetrometrillä (Bush recording soil penetrometer). Penetrometri mittasi kartion maahan painamiseksi tarvittavan voiman 3,5 cm:n välein 0 - 52,5 cm:n syvyydessä (ANDERSSON ym. 1980, ANON. 1987). Mittauksissa käytetyn kartion halkaisija oli 12,9 mm. Mekaaninen vastus saatiin kertomalla penetrometrin mittaama voima 0,762:lla. Maan kosteusvaihteluiden aiheuttaman virheen minimoimiseksi mittaukset tehtiin elo-syyskuussa, jolloin maa oli runsaiden sateiden jäljiltä kauttaaltaan kosteaa. Jokioisissa mitattiin kaikista ruuduista kymmenen ja Mouhijärveltä viisi pistoa. Laskennassa käytettiin jokaisessa mittaussyvyydessä ruudun penetrometrilukemana siitä mitattujen pistojen mediaania.

Jokioisten savimaan vedenläpäisykyky mitattiin vuonna 1987 koejäsenittäin kolmesta kerranteesta sekä monokulttuurina että viljelykiertona viljellystä koejäsenestä. Vedenläpäisykyky mitattiin kentällä 20 - 40 ja 40 - 60 cm:n syvyydestä ns. käänteisellä (pohjaveden yläpuolisella) auger hole-menetelmällä (ANON. 1983b).

Maahan kairattiin säteeltään (r) 4 cm:n kolo mittaussyvyvyyteen. Sen pohjalle pantiin suodattimeksi hieman karkeaa soraa. Koloon kaadettiin vettä, jonka annettiin imeytyä maahan. Varsinainen vedenpinnan laskemisnopeuden mittausta aloitettiin, kun vesi imeytyi maahan tasaisella nopeudella. Ruudun vedenläpäisykyky mitattiin kahdesta kohtaa, joiden keskiarvoa käytettiin ruutulukemana. Maan vedenläpäisykyky (K, cm/h) laskettiin kaavasta 2, jossa h₀ oli veden korkeus (cm) kolossa mittauksen alussa, t oli aika (min) mittauksen alusta ja h_t veden korkeus (cm) kolossa aikana t.

$$K = 1,5 * r * \frac{\lg(h_0 + r/2) - \lg(h_t + r/2)}{t} \quad (2)$$

Aineiston laskenta ja tilastollinen käsittely tehtiin Maatalouden tutkimuskeskuksessa käytettävissä olevilla SPSSX-ohjelmistoilla (ANON. 1983c). Väjäntömomenttitulosten tilastollisessa testauksessa käytettiin Studentin t-testiä. Koejäsenten välisien erojen riskitasot merkittiin seuraavasti: - = yli 5 % (ei merkitsevä), * = 1,0 - 5,0 % (merkitsevä), ** = 0,1 - 1,0 % (hyvin merkitsevä) ja *** = alle 0,1 % (erittäin merkitsevä). Muut tulokset testattiin tilastollisesti varianssianalyysillä. Käsittelyjen väliset pienimmät merkitsevät erot laskettiin 5 %:n riskitasolla Tukeyn HSD-testillä (Honestly Significant Difference).

3. TULOKSET

3.1. Maan huokostilavuus ja -jakauma

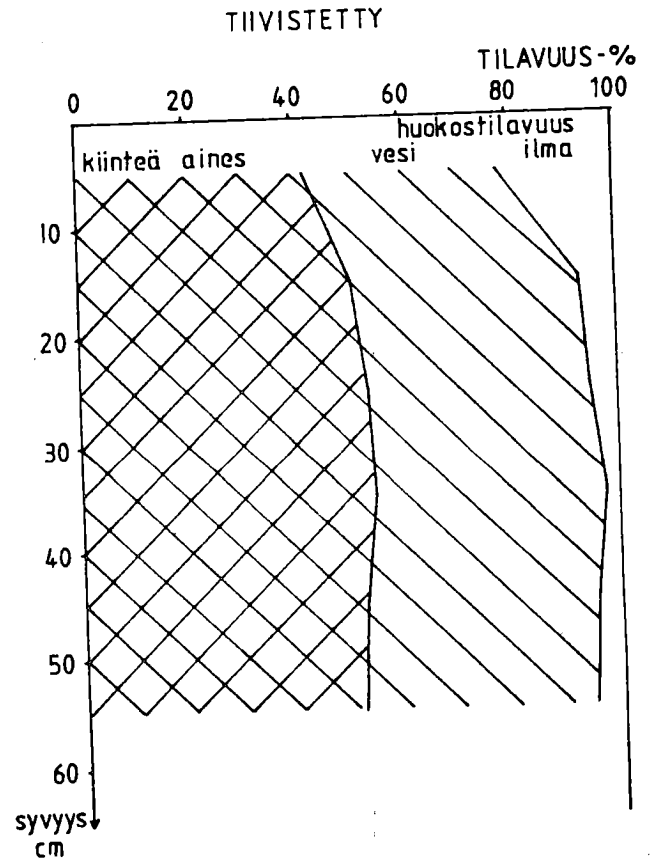
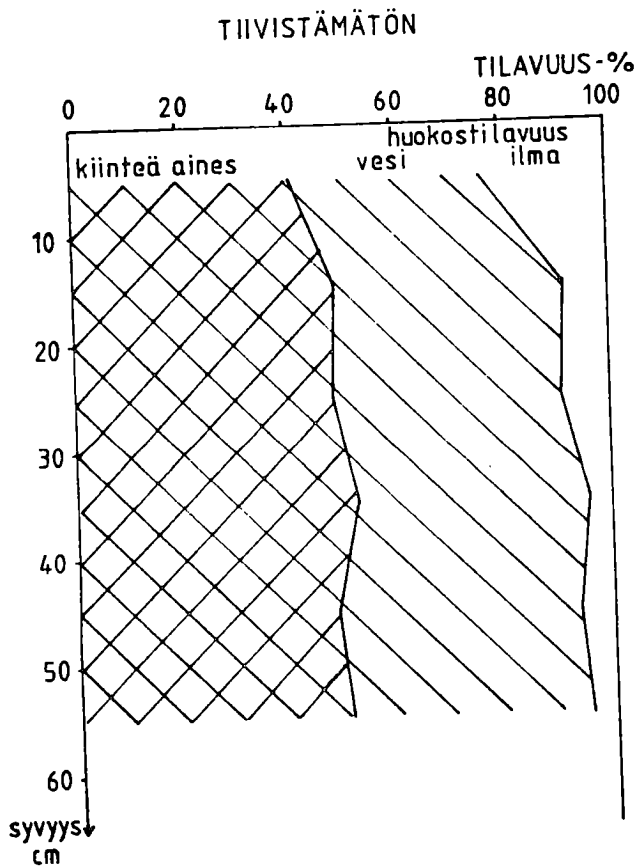
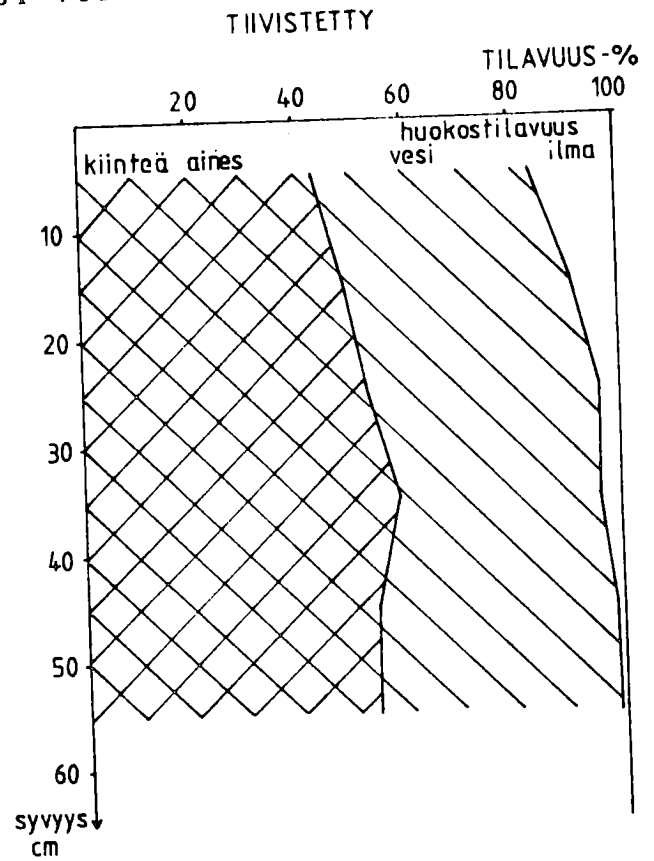
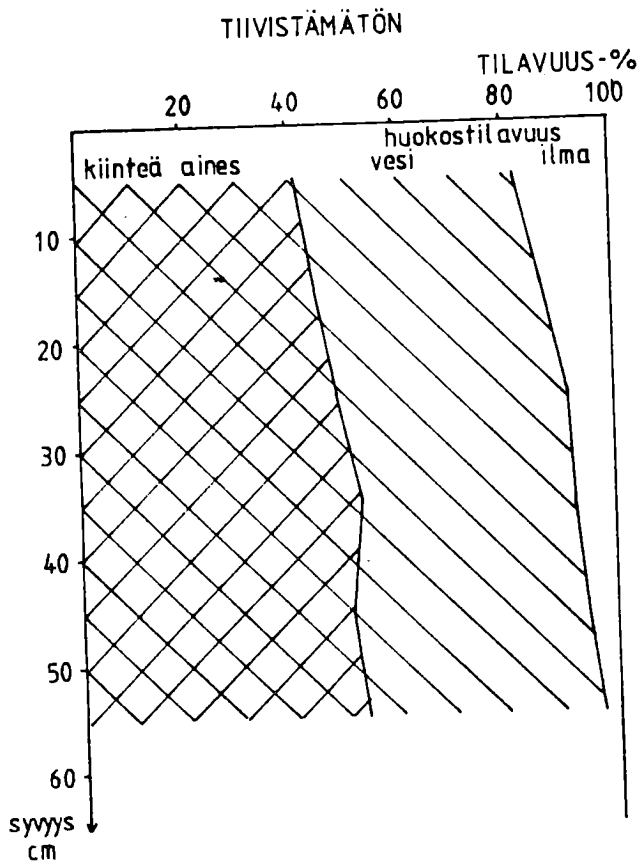
Tulokset Jokioisten kentiltä määritetyistä huokostilavuuksista ja huokosjaumista -10 kPa:n vesipotentialissa on esitetty kuvioissa 1 - 4. Liitteissä 3 ja 4 on esitetty numeeriset arvot, joiden perusteella kuviot on piirretty.

Jokaisena määrittävuonna savimaan (hiuesavi/aitosavi) huokostilavuus oli 0 - 60 cm:n syvyydessä neljästi tiivistetyssä koejäsenessä 1 - 6 prosenttiyksikköä pienempi kuin tiivistä-

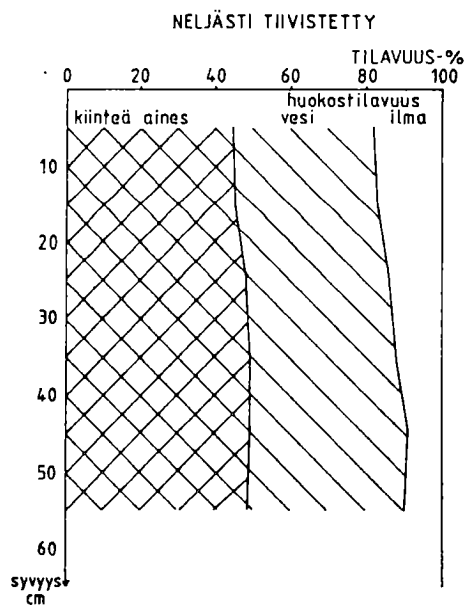
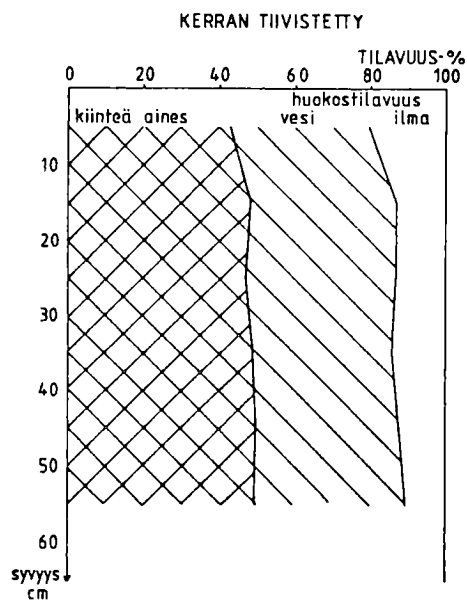
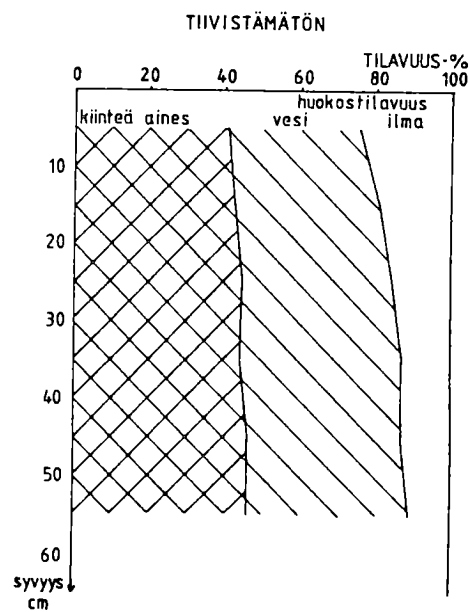
mättömässä (kuviot 1 ja 2). Käsittelyjen huokostilavuuksien ero oli tavallisesti suurin 20 - 50 cm:n syvyydessä. Yhden ajokerran vaikutus maan rakenteeseen määritettiin ensimmäisen kerran kolmantena tiivistämisen jälkeisenä vuonna. Vielä silloinkin tiivistetyn maan huokostilavuus oli mittaus­syvyydessä pienempi kuin tiivistämättömän (kuvio 2).

Neljästi tiivistetyn savimaan huokosjakauma -10 kPa:n vesipotentiaalissa poikkesi selvästi tiivistämättömän maan jakaumasta. Eniten tiivistäminen näytti pienentäneen maan suurten huokosten (ilmahuokosten) osuutta huokostilavuudesta. Suurin osa huokostilavuuden pienentymisestä kohdistui yleensä näihin huokosiin. Osa tiivistymisestä kohdistui kuitenkin myös ilmahuokosia pienempiin huokosiin, joiden tilavuus oli tiivistetyssä maassa yleensä lievästi tiivistämättömää maata pienempi (kuviot 1 ja 2).

Kerran tiivistetyn maan huokosjakauma -10 kPa:n potentiaalissa käyttäytyi hieman erilaisesti kuin neljästi tiivistetyn. Pääosa tiivistymisestä kohdistui pinnasta 30 cm:n syvyyteen suuriin huokosiin, mutta pieniin ja keskisuuriin huokosiin siitä syvemmälle mentäessä (kuvio 2). Tämä johtui ilmeisesti siitä, että toisessa näytteenottokerranteessa pohjamaa oli maalajiltaan karkeampaa tiivistetyissä koejäsenissä kuin tiivistämättömässä. Karkeammassa kerran tiivistetyssä oli vielä kuormituksen jälkeenkin enemmän suuria huokosia kuin maalajiltaan hienommassa tiivistämättömässä. Neljästi tiivistetyssä ja tiivistämättömässä pohjamaassa suuria huokosia oli ko. näytteenottokerranteessa saman verran. Toisessa näytteenottokohdassa oli tiivistetyissä koejäsenissä selvästi vähemmän suuria huokosia kuin tiivistämättömässä 30 cm:ssä syvemmällä.



Kuvio 1. Neljä kertaa tiivistetyn ja tiivistämättömän savi-
maan huokostilavuus (%) ja huokosjakauma (%) -10 kPa:n vesi-
potentiaalissa 0 - 60 cm:n syvyydessä Jokioisissa vuosina
1982 ja 1983.



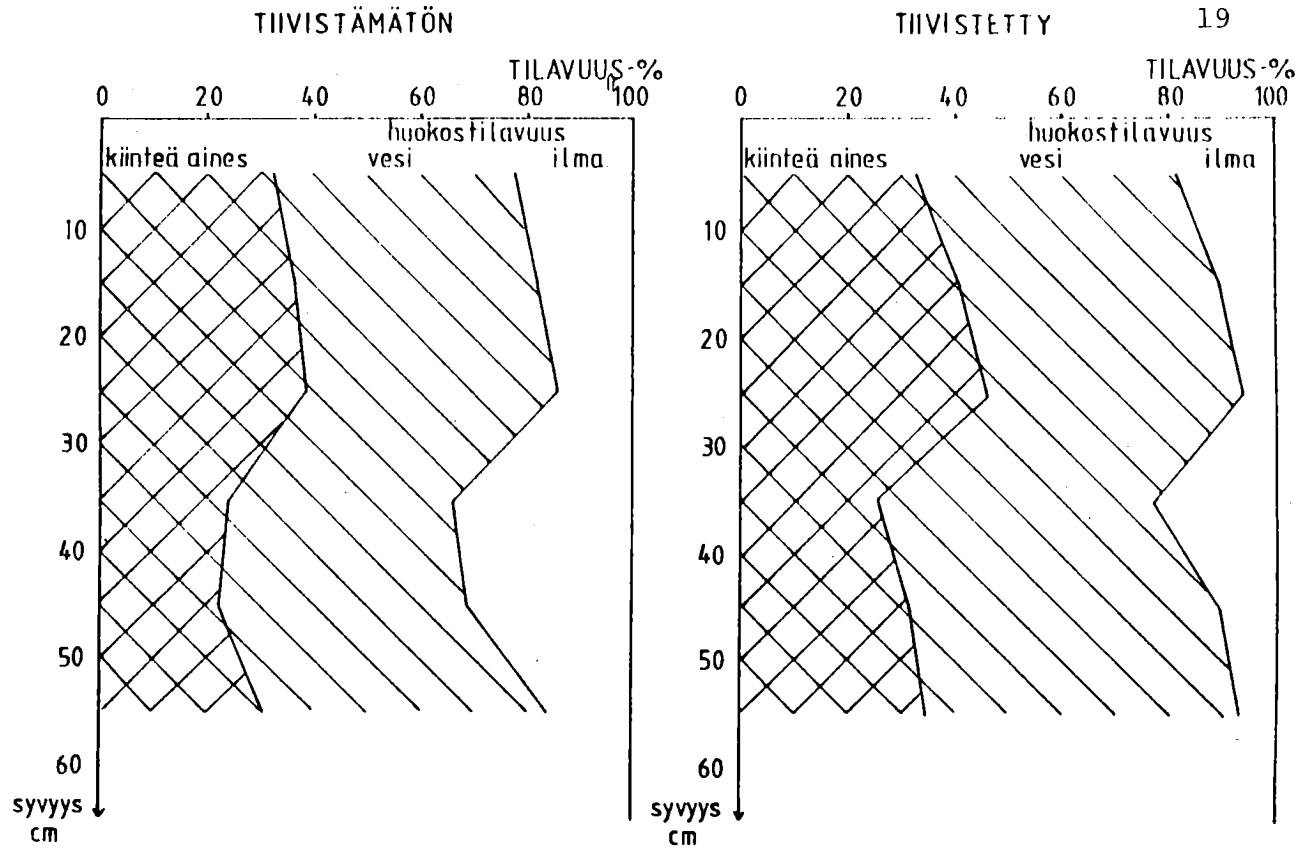
Kuvio 2. Tiivistetyn ja tiivistämättömän savimaan huokostilavuus (%) ja huokosjakauma (%) -10 kPa:n vesipotentialissa 0 - 60 cm:n syvyydessä Jokioisissa vuonna 1984.

Ensimmäisenä seurantavuonna neljästi tiivistetyn eloperäisen maan (savettua turvetta 50 cm/lieju) huokostilavuus oli 10 - 60 cm:n syvyydessä pienempi kuin tiivistämättömän maan. Ero oli 1,5 - 9 prosenttiyksikköä (kuvio 3). Toisena mittausvuonna molempien koejäsenten huokostilavuus oli lähes yhtäsuuri (kuvio 3). Kolmantena jälkivaikutusvuonna huokostilavuus oli taas neljästi tiivistetyssä maassa 2 - 5 ja kerran tiivistetyssä 1 - 2 prosenttiyksikköä pienempi kuin tiivistämättömässä maassa kyntökerroksen alapuolella (kuvio 4). Näytteet otettiin kunakin vuonna vain yhdestä koejäsenparista, mutta näytteenottokerta vaihtui kentän sisällä vuosittain. Vuosittainen vaihtelu huokostilavuuksien eroissa käsittelyjen välillä johtui eloperäisen maan huomattavista luontaisista vaihteluista kentän sisällä.

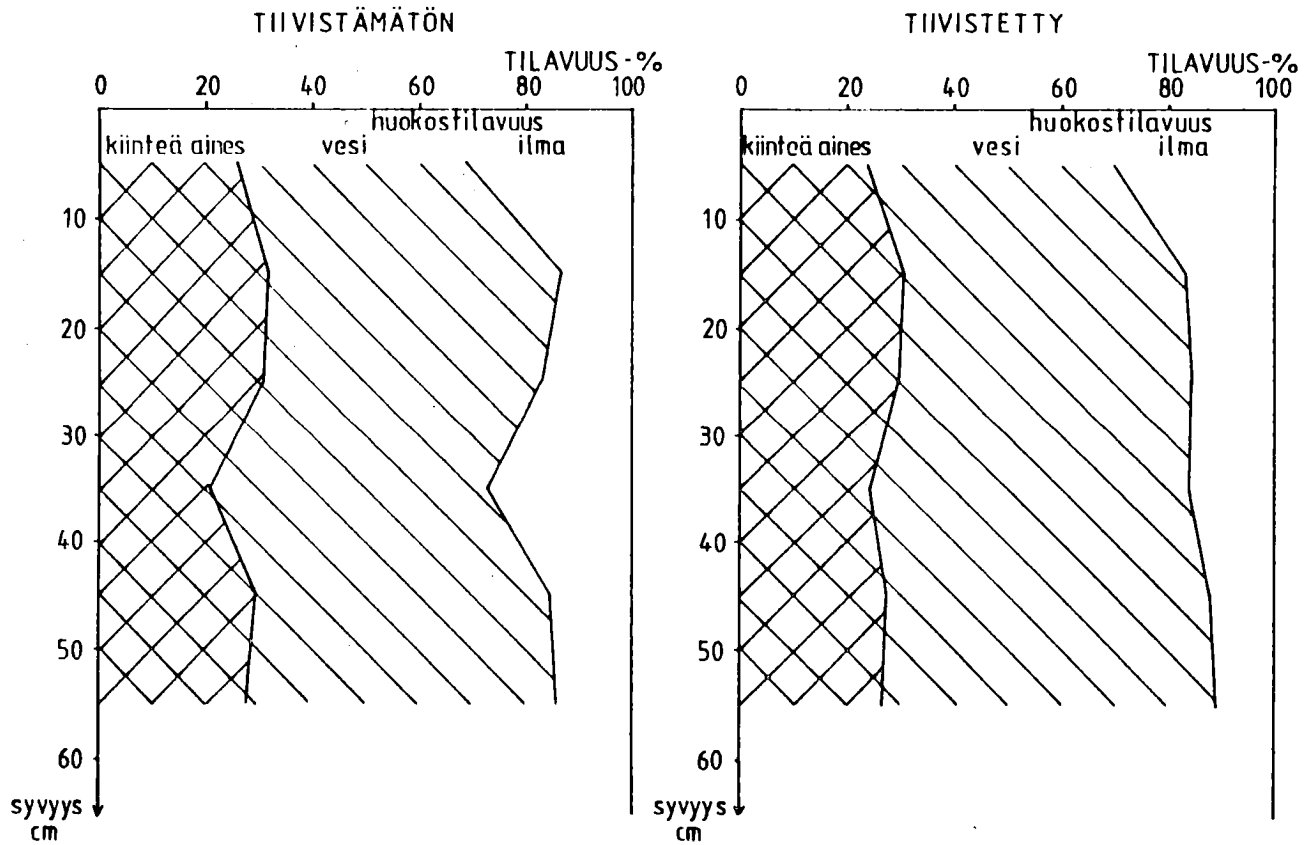
Tiivistäminen vaikutti näiden tulosten mukaan enemmän eloperäisen maan huokosjakaumaan kuin huokostilavuuteen. Neljästi tiivistetyn eloperäisen maan suurten huokosten tilavuus oli kyntökerroksen alapuolella pienempi kuin tiivistämättömän kaikkina määrittämissä vuosina. Ero oli suurin (4 - 20 %-yksikköä) 30 - 50 cm:n syvyydessä, josta syvemmälle se taas pieneni. Vuoden 1984 tuloksissa myös kerran tiivistetyssä maassa oli kyntökerroksen alapuolella vähemmän suuria huokosia kuin tiivistämättömässä. Ero oli suurimmillaan 5 prosenttiyksikköä, mikä viittaa siihen, että yksi ajokerta tiivistä huomattavasti lievemmin eloperäistä maata kuin neljä (kuviot 3 ja 4). Kyntökerroksessa tiivistäminen pienensi ilmahuokosten tilavuutta selvästi ensimmäisenä seurantavuonna, mutta sen jälkeen tulokset tiivistämisen vaikutuksesta olivat vaihtelevia.

Tiivistettyjen ja tiivistämättömän eloperäisen maan huokostilavuuksien erotus oli huomattavasti pienempi kuin suurten huokosten tilavuuksien erotus. Neljästi tiivistetyssä eloperäisessä maassa olikin lähes jokaisessa mittaussyvyydessä enemmän keskisuuria ja pieniä huokosia (vesitilavuus) kuin tiivistämättömässä. Ero oli suurin 30 - 50 cm:n syvyydessä (6 - 24 %-yksikköä), josta syvemmällä se pieneni. Vuoden 1984

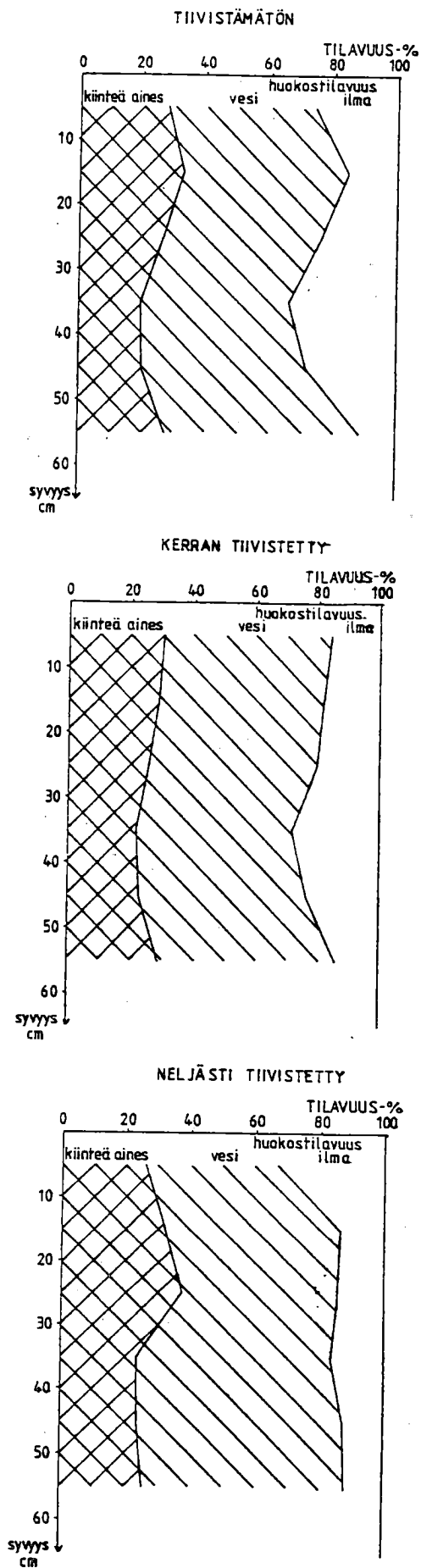
VUOSI 1982



VUOSI 1983



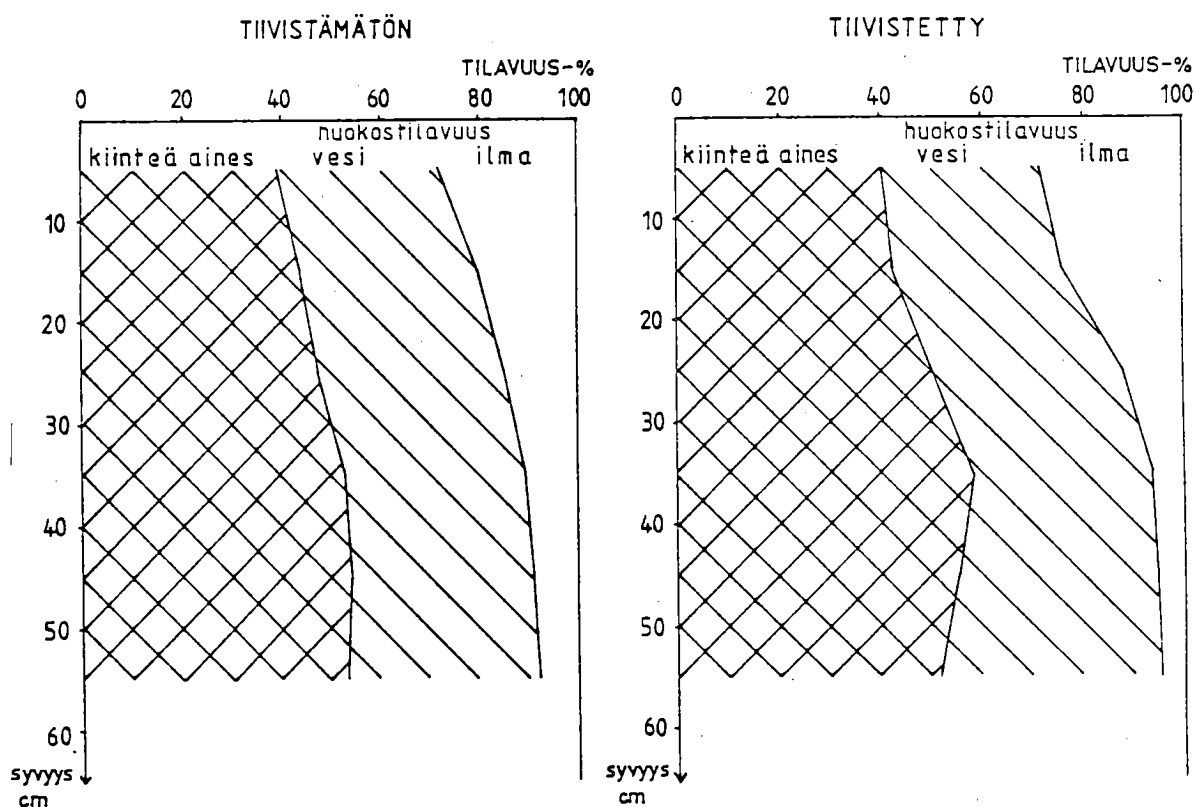
Kuvio 3. Neljästi tiivistetyn ja tiivistämättömän eloperäisen maan huokostilavuus (%) ja huokosjakauma (%) -10 kPa:n vesipotentiaalissa 0 - 60 cm:n syvyydessä Jokioisissa vuosina 1982 ja 1983.



Kuvio 4. Tiivistetyn ja tiivistämättömän eloperäisen maan huokostilavuus (%) ja huokosjakauma (%) -10 kPa:n vesipotentiaalissa 0 - 60 cm:n syvyydessä Jokioisissa vuonna 1984.

tuloksissa kerran tiivistetyssä maassa oli enimmillään 8 prosenttiyksikköä enemmän ko. huokosia kuin tiivistämättömässä (kuvio 4).

Mouhijärven kentältä (hiuesavi/hiesusavi) huokostilavuus ja -jakauma määritettiin vain yhdestä tiivistämättömästä ja neljästi tiivistetystä ruudusta vuonna 1983. Tulokset olivatkin vain viitteellisiä. Tässä näytteenottokohdassa tiivistetyn maan huokostilavuus oli 20 - 50 cm:n syvyydessä 2 - 6 prosenttiyksikköä pienempi kuin tiivistämättömän (kuvio 5).



Kuvio 5. Tiivistämättömän ja neljästi tiivistetyn maan huokostilavuus (%) ja huokosjakauma (%) -10 kPa:n vesipotentiaalissa Mouhijärvellä vuonna 1983. Numeeriset arvot on esitetty liitteessä 6.

Tiivistetyn maan suurten huokosten tilavuus oli 20 - 60 cm:n syvyydessä 2 - 5 prosenttiyksikköä pienempi kuin tiivistämättömän (kuvio 5). Tiivistetyn maan vesitilavuus oli 0 - 40 cm:n syvyydessä lievästi pienempi ja siitä syvemmällä 2 - 4 prosenttiyksikköä suurempi kuin tiivistämättömän. Muokkaus-

kerroksen alapuolella suurten huokosten tilavuuden muutos prosenttisyksikköinä oli suurempi kuin keskisuurten ja pienten huokosten.

Tiivistetyssä maassa oli kyntökerroksessa enemmän suuria huokosia kuin tiivistämättömässä maassa (kuvio 5). Käsittelyjen välinen ero saattaa johtua siitä, että tiivistetyn maan rakenne oli vielä kahden kyntökerrankin jälkeen karkeampi kuin tiivistämättömän.

3.2. Jokioisten savimaan vääntömomenttimittaukset

Savimaasta mitattiin syksyllä 1982 vääntömomenteja. Nelinkertainen tiivistäminen suurensi maan vääntövastusta jo kyntökerroksessa merkitsevästi, vaikka käsittelyjen välinen ero ei ollutkaan suuri. Kyntökerroksen alapuolella käsittelyjen välinen ero kasvoi ja oli erittäin merkitsevä (taulukko 4).

Vääntömomenttitulokset tukivat osaltaan huokoisuusmäärittämisistä saatuja tuloksia: tiivistyminen ulottui kyntökerroksen alapuolelle ollen siellä voimakkaampaa kuin kyntökerroksessa.

Taulukko 4. Tiivistämättömän ja neljä kertaa tiivistetyn savimaan vääntömomentti (Nm) 0 - 40 cm:n syvyydessä syksyllä 1982.

Syvyys, cm	Tiivistämätön	Tiivistetty	Merkitsevyys
0 - 10	20	23	**
10 - 20	36	39	*
20 - 30	43	55	***
30 - 40	54	68	***

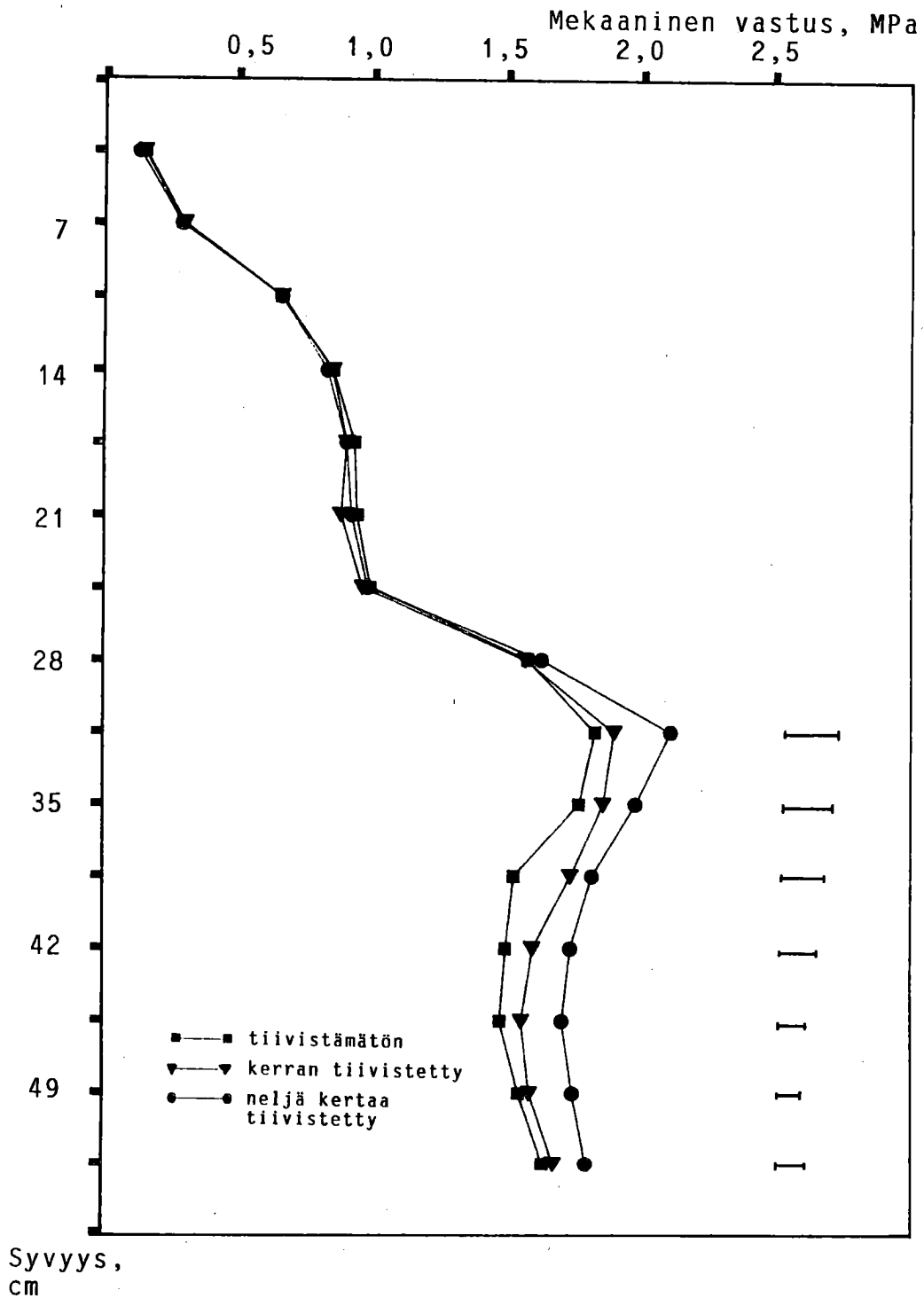
3.3. Maan mekaaninen vastus

Kuusi vuotta tiivistämisen jälkeen (v. 1987) mitattiin kaikilta koekentiltä maan mekaaninen vastus kartiopenetrometrillä. Kyntökerroksessa tiivistämiskäsittelyjen mekaaniset vastukset eivät juurikaan poikenneet toisistaan millään koekentällä. Sen alapuolella mekaaninen vastus kasvoi ja käsittelyjen välinen ero suureni (kuviot 6 - 8).

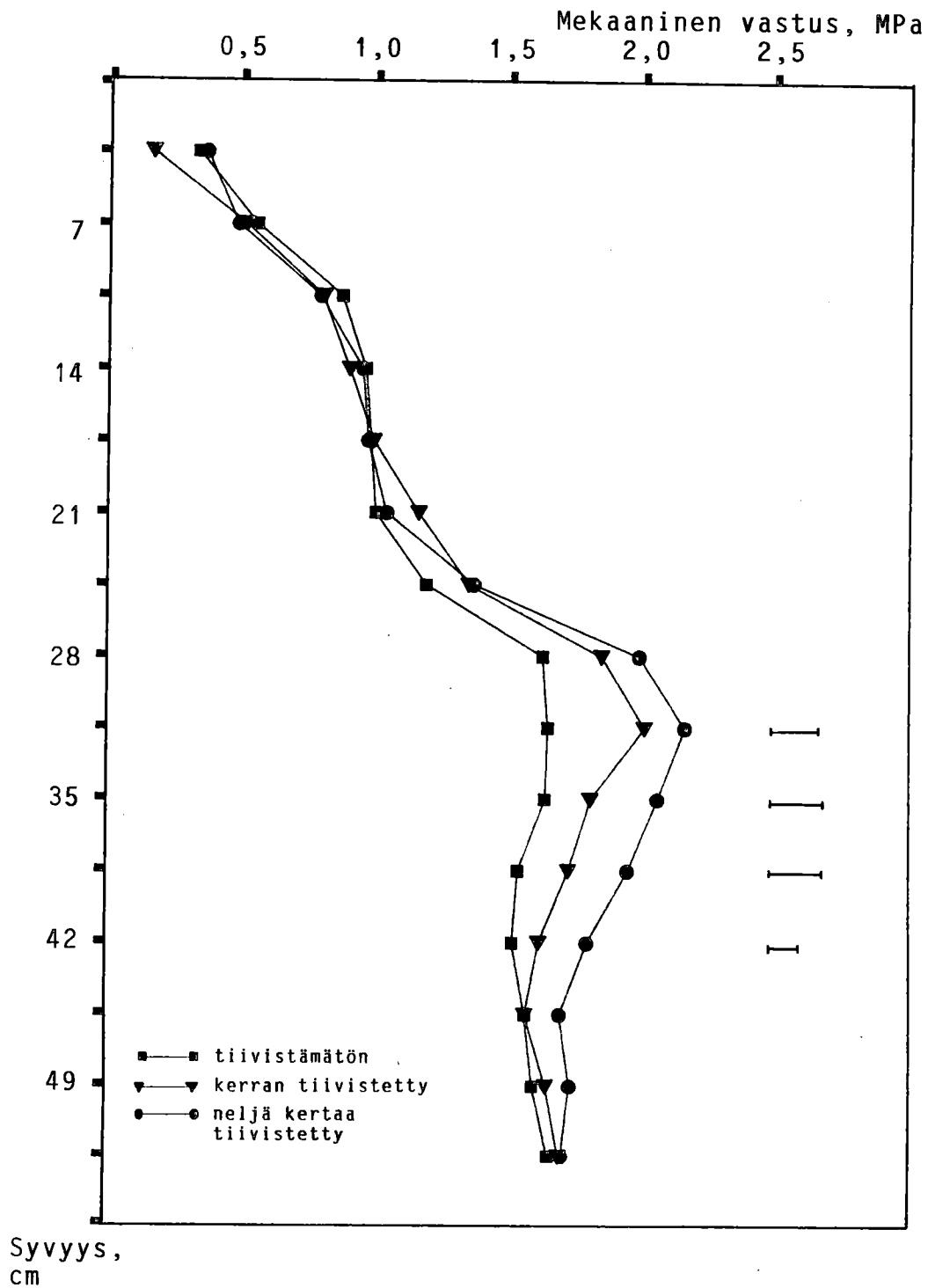
Neljä kertaa tiivistetyn Jokioisten savimaan mekaaninen vastus oli merkitsevästi suurempi kuin tiivistämättömän kyntöanturasta syvemmällä. Kerran tiivistetyn maan mekaaninen vastus näytti olleen hieman suurempi kuin tiivistämättömän n. 50 cm:n syvyyteen, mutta ero oli merkitsevä vain yhdessä mitaussyvyydessä (38 cm). Kerran tiivistetyn maan mekaaninen vastus oli merkitsevästi pienempi kuin neljästi tiivistetyn 42 cm:stä syvemmälle (kuvio 6).

Neljästi tiivistetyssä eloperäisessä maassa tiivistymä oli havaittavissa 31 - 42 cm:n syvyydessä (kuvio 7). Tällä välillä tiivistetyn maan mekaaninen vastus oli merkitsevästi suurempi kuin tiivistämättömän. Kerran tiivistetyn maan vastus oli merkitsevästi suurempi kuin tiivistämättömän vain 30 cm:n syvyydessä. Neljästi tiivistetyn maan mekaaninen vastus oli puolestaan merkitsevästi suurempi kuin kerran tiivistetyn 35 - 42 cm:n syvyydessä (kuvio 7).

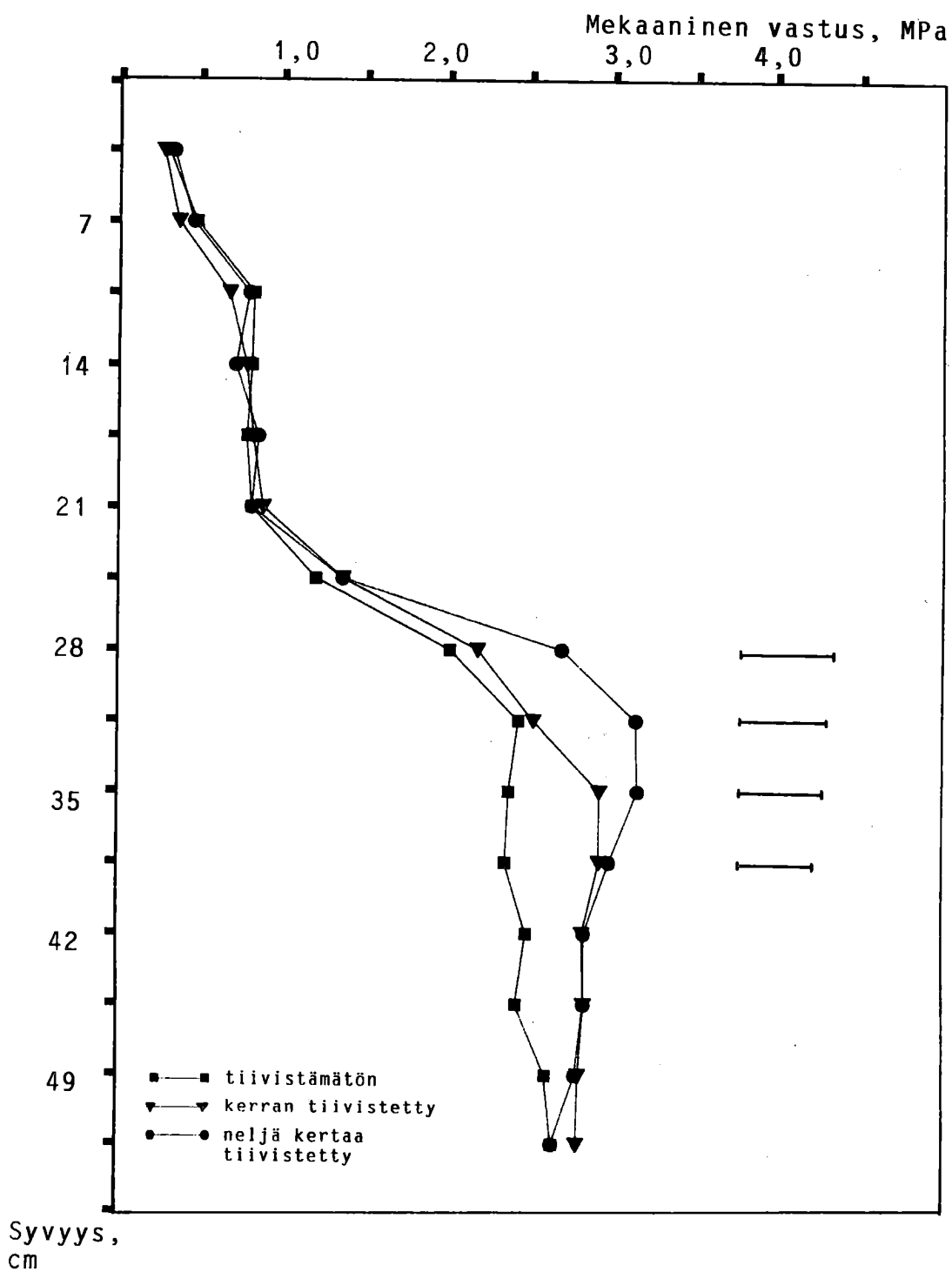
Mouhijärvellä neljä kertaa tiivistetyn maan mekaaninen vastus oli merkitsevästi suurempi kuin tiivistämättömän 28 - 38 cm:n syvyydessä. Kerran tiivistetyn maan mekaaninen vastus näytti olleen yli 50 cm:n syvyyteen suurempi kuin tiivistämättömän. Käsittelyjen välinen ero oli merkitsevä 35 - 38 cm:n syvyydessä. Neljästi tiivistetyn maan vastus oli suurempi kuin kertaalleen tiivistetyn 38 cm:n syvyyteen, josta syvemmälle aina 50 cm:iin asti käsittelyjen mekaaninen vastus oli lähes yhtä suuri (kuvio 8).



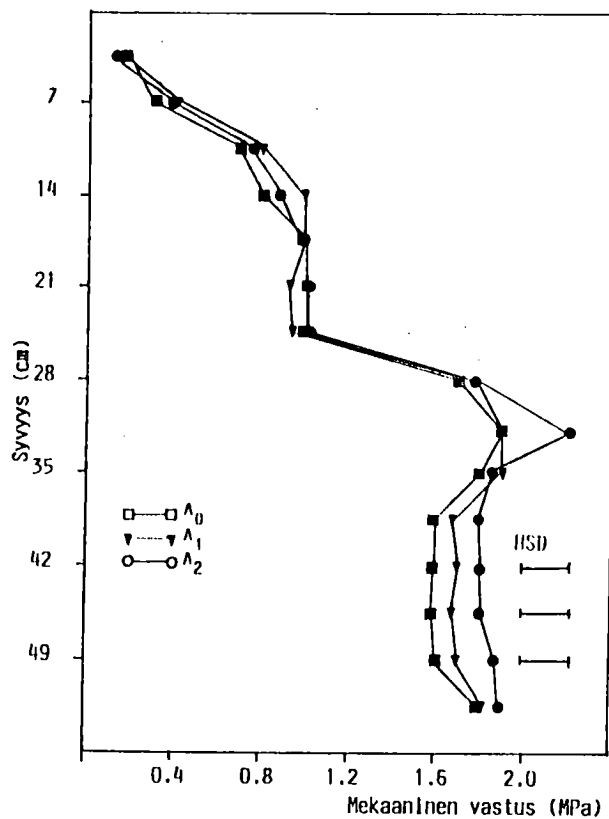
Kuvio 6. Jokioisten savimaan (hiuesavi/aitosavi) mekaaninen vastus (MPa) 0 - 52 cm:n syvyydessä koejäsenittäin koko kokeen keskiarvona vuonna 1987. Janan pituus ilmoittaa Tukeyn HSD-testillä lasketun pienimmän merkitsevän eron 5 %:n riskitasolla.



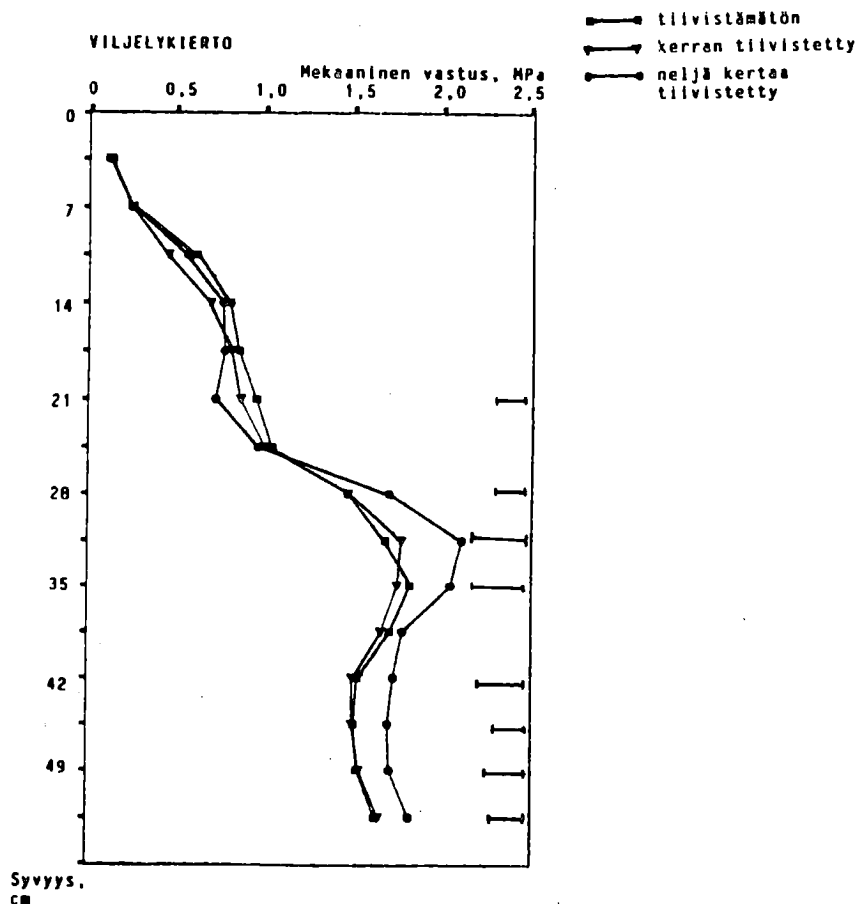
Kuvio 7. Eloperäisen maan (savettu turve 50 cm/lieju) mekaaninen vastus (MPa) 0 - 52 cm:n syvyydessä koejäsenittäin syvyydessä vuonna 1987. Janan pituus ilmoittaa Tukeyn HSD-tes-
tillä lasketun pienimmän merkitsevän eron 5 %:n riskitasolla.



Kuvio 8. Maan mekaaninen vastus (MPa) Mouhijärvellä (hiesavi/hiesusavi) koejäsenittäin 0 - 52 cm:n syvyydessä vuonna 1987. Janan pituus ilmoittaa Tukeyn HSD-testillä lasketun pienimmän merkitsevän eron 5 %:n riskitasolla.



VILJELYKIERTO



Kuvio 9. Jokioisten savimaan mekaaninen vastus (MPa), kun viljeltiin pelkästään viljaa (monokulttuuri) tai viljelykiertoon sisältyi nurmi (viljelykierto).

Kuviossa 9 on verrattu viljan monokulttuurina viljellyn ja ennen mittausta kolme vuotta nurmella olleen maan mekaanista vastusta tiivistyskäsittelyittäin. Maan mekaaninen vastus oli viljelykierrossa kerran tiivistetyä ja tiivistämättömässä koejäsenessä lähes sama, mutta neljästi tiivistetyssä edellisiä suurempi, usein jopa merkitsevästi, kyntökerroksen alapuolella. Viljanviljelyssä olleessa maassa tiivistettyjen koejäsenten mekaaninen vastus näytti olleen kyntökerroksen alapuolella suurempi kuin tiivistämättömän. Merkitsevä ero oli neljästi tiivistetyn ja tiivistämättömän koejäsenen välillä 42 - 49 cm:n syvyydessä.

3.4. Jokioisten savimaan vedenläpäisykyky

Vuonna 1987 mitattiin Jokioisten savimaan vedenläpäisykyky 20 - 40 ja 40 - 60 cm:n syvyydestä. Läpäisykyky mitattiin koejäsenittäin kolmesta kerranteesta kauran monokulttuurina ja viljelykiertona viljelystä maasta. Viljelykiertoon oli sisältynyt nurmi (3 v.) mittausta edeltäneinä vuosina.

Pelkästään viljanviljelyssä ollen maan vedenläpäisykyky oli huonompi 20 - 40 cm:n syvyydessä tiivistetyissä koejäsenissä kuin kasvinvuorotusta noudatettaessa (taulukko 5). Erityisen selvä ero oli neljästi tiivistettyjen koejäsenten välillä. Käsittelyjen väliset erot eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä, mihin vaikutti ilmeisesti osaltaan mittausten vähäinen määrä.

Tiivistetyn maan vedenläpäisykyky oli merkitsevästi huonompi kuin tiivistämättömän 40 - 60 cm:n syvyydessä molemmissa viljelyjärjestelmissä (taulukko 5). Varsinkin neljästi tiivistetyn maan vedenläpäisykyky oli huomattavasti pienempi kuin muissa koejäsenissä. Viljelykierron edullisuus tuli esiin vain 20 - 40 cm:n syvyydessä.

Taulukko 5. Jokioisten savimaan vedenläpäisykyky (cm/h) 20 - 40 ja 40 - 60 cm:n syvyydessä, kun viljeltiin kauraa (monokulttuuri) tai kasvinvuorotukseen kuului nurmi (viljelykierto). Taulukossa A_0 = tiivistämätön, A_1 = kerran ja A_2 = neljästi tiivistetty koejäsen. Käsittelyjen välillä on merkitsevä ero 5 %:n riskitasolla, jos niiden yläindekseissä on eri kirjain.

Tiivistys	Monokulttuuri	Viljelykierto
	20 - 40	20 - 40
A_0	2,26 ^a	2,34 ^a
A_1	0,91 ^a	1,31 ^a
A_2	0,24 ^a	1,09 ^a
	40 - 60	40 - 60
A_0	0,53 ^a	0,23 ^a
A_1	0,33 ^b	0,16 ^{ab}
A_2	0,07 ^c	0,05 ^b

4. TULOSTEN TARKASTELU

Tarkasteltavat kokeet perustettiin Jokioisissa jäykähkölle savimaalle (HeS/As) ja eloperäiselle maalle, joka oli 40 - 50 cm:n syvyyteen savettua turvetta ja sen alapuolella liejua. Sata-Hämeen kenttä oli 30 cm:n syvyyteen hiesuista hiuesavea ja sitä syvemmällä hiesusavea. Maat tiivistettiin syksyllä 1981 traktori-perävaunuyhdistelmällä, jonka suurin akselipaino oli n. 16 tn (teliakseli). Muiden akseleiden paino ei ylittänyt 10 tn. Jokioisissa perävaunun renkaiden ilmanpaine oli 700 kPa.

Jokioisten kenttien tulosten mukaan neljä ajokertaa kyseisellä yhdistelmällä tiivistä maata jopa 60 cm:n syvyyteen. Voimakkainta tiivistyminen oli 30 - 50 cm:n syvyydessä, jossa tiivistetyn ja tiivistämättömän maan rakenteet poikkesivat eniten toisistaan. Myös Mouhijärven kentän mittaustulosten mukaan maa tiivistyi ainakin 50 cm:n syvyyteen neljästi ajettaessa. Tulos oli kuitenkin viitteellinen näytteenottoapaikkojen vähyyden vuoksi.

Jokioisten savimaasta tehtyjen mittausten mukaan myös yksi tiivistyskerta riitti tiivistämään maan jopa 60 cm:n syvyyteen. Penetrometrimittausten mukaan yksi ajokerta oli tiivistänyt myös eloperäisen ja Mouhijärven hiuesaven 40 cm:n syvyyteen.

Tiivistettäessä maa oli kosteaa varsinkin Jokioisten kentillä. Tämä ilmeisesti vaikutti tiivistymän syvyyteen raskaan kuorman ohella. VOORHEESin ym:n (1986) mukaan kostea maa tiivistyi huomattavasti syvemmältä kuin kuiva ajettaessa 20 tn:n akselipainolla.

Tiivistymän syvyyden osalta tulokset ovat hyvin saman suuntaisia, mitä muissa kivennäismailla tehdyissä kokeissa on saatu. Niissä vastaavalla kuormituksella savimaa tiivistyi puolen metrin syvyyteen ja tiivistymä oli voimakkainta 30 - 50 cm:ssä (HÅKANSSON 1979, GAMEDA ym. 1984, VOORHEES ym. 1986). Erittäin voimakas kuormitus tiivistä maan jopa metrin syvyyteen (ERIKSSON 1976). Myös hiesuiset maat tiivistyivät huomattavasti kyntökerrosta syvemmältä käytettäessä raskaita kuormia (BLACKWELL ym. 1986, HAMMEL 1988). Eloperäinen maa tiivistyi 50 cm:iin jo huomattavasti tässä käytettyä pienemmällä kuormituksella (SCHMIDT ja ROHDE 1986).

Kertaallisen tiivistyksen vaikutus maan rakenteeseen oli Jokioisten kentillä lievempi kuin neljän tiivistyskerran. Mouhijärven kentällä kerran tiivistetyn maan mekaaninen vastus oli kyntökerroksen alapuolella 40 cm:n syvyyteen pienempi kuin neljästi tiivistetyn, mutta siitä syvemmällä käsittely-

jen välillä ei ollut eroa. Ajokertojen lisääminen voimisti myös HÅKANSSONIN (1979) ja GAMEDAN ym:n (1987a) mukaan maan tiivistymistä.

Koekentät olivat pääosin viljanviljelyssä koejakson aikana. Ne kynnettiin syksyisin (20 - 25 cm). Jokioisissa kivennäismaa routaantui vähintään puolen metrin syvyyteen muina talvina kuin 1981/82. Mouhijärvellä maa ei yleensä routaantunut yhtä syväälle kuin Jokioisissa. Useana kesänä oli pitkiä poutajaksoja, jolloin maa kuivui ja erityisesti Jokioisten savimaa halkeili voimakkaasti.

Jokioisten savimaassa (hiuesavi/aitosavi) tiivistyminen näkyi muokkauskerroksen rakenteessa ja vääntövastuksessa selvästi ensimmäisenä seurantavuonna. Myös kahden seuraavan vuoden tulokset viittasivat, että tiivistetyn maan rakenne olisi huonompi kuin tiivistämättömän. AURAN (1983) mukaan savimaan tiivistymä hävisi Suomen oloissa kyntökerroksesta lähes täysin vuodessa. Hänen tutkimuksessaan tiivistävä kuormitus oli kuitenkin huomattavasti kevyempi kuin käsiteltävässä kokeessa. Muualla tehdyissä kokeissa rajun tiivistymisen häviäminen on vienyt vuosia kynnöstä ja ilmastovaihteluista huolimatta (HÅKANSSON ja DANFORS 1981, CANARACHE ym. 1988).

Eloperäisen maan muokkauskerros oli tiivistynyt neljästi ajettaessa ensimmäisen seurantavuoden tulosten mukaan. Kahtena seuraavana vuonna huokosjakaumien eroissa ei ollut yhtenäistä linjaa. Tähän saattoi vaikuttaa osaltaan maan huomattava luontainen vaihtelu. Tiivistämisen mahdollista pitkäaikaisvaikutusta muokkauskerroksessa ei näiden tulosten perusteella voinut päätellä.

Kyntökerroksen (0 - 25 cm) maan mekaaninen vastus oli kaikilla koekentillä koejäsenittäin lähes sama vuonna 1987 tehdyissä mittauksissa. Näiden mittaustulosten mukaan tiivistymä oli kuohkeutunut muokkauskerroksessa kynnön ja ilmastovaihteluiden vaikutuksesta kuudenteen jälkivaikutusvuoteen mennessä.

Kyntökerroksen alapuolella tiivistymää oli säilynyt kaikilla kentillä kuusi vuotta. Vuonna 1987 mitattu maan mekaaninen vastus oli kyntökerroksen alapuolella kaikilla koekentillä tiivistetyissä koejäsenissä suurempi kuin tiivistämättömässä. Neljästi tiivistetyssä maassa se oli tavallisesti suurempi kuin kerran tiivistetyssä. Koejäsenten välinen ero oli voimakkein (merkitsevä) Jokioisten eloperäisessä maassa ja Mouhijärven hiuesavessa 30 - 40 cm:n syvyydessä. Näillä kentillä koejäsenten väliset erot olivat tasoittuneet lähes kokonaan 50 cm:n syvyydessä.

Jokioisten savimaan kentällä neljästi tiivistetyn ja tiivistämättömän koejäsenen välinen ero mekaanisessa vastuksessa oli merkitsevä 30 cm:n syvyydestä syvemälle. Kerran tiivistetyn ja tiivistämättömän maan mekaaninen vastus oli sen sijaan tasoittunut 50 cm:n syvyydessä. Tiivistyminen heikensi myös savimaan vedenläpäisykykyä vuoden 1987 mittaustulosten mukaan. Tuolloin kyllästetyn maan vedenläpäisykyky oli tiivistetyissä koejäsenissä merkitsevästi hitaampi 40 - 60 cm:n syvyydessä. Tiivistetyn maan vedenläpäisykyky oli hitaampi kuin tiivistämättömän myös 20 - 40 cm:n syvyydessä, mutta käsittelyjen välinen ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä, mikä johtui ilmeisesti mittausten vähäisestä määrästä.

Myös muualla tehdyissä kenttäkokeissa muokauskerroksen alapuolinen tiivistymä oli pitkäikäinen sekä savimaassa (BLAKE ym. 1976, HÅKANSSON 1985) että karkeassa maassa (van Ouwkerk 1968, GAULTNEY ym. 1982). Syvällä oleva tiivistymä jää yleensä luonnonprosessien kuohkeutettavaksi. Niiden tehokkuudesta tavallisen viljelyn yhteydessä GAMEDA ym. (1987b) totesivat, että ilmastovaihtelut kuohkeuttivat maata tehokkaasti n. 35 cm:n syvyyteen.

Jokioisten savimaalla selvitettiin nurmiviljelyn vaikutusta tiivistetyn maan rakenteen palautumiseen. Osa kentästä oli apila-timoteinurmena vuosina 1984 - 1986. Maan vedenläpäisykyky mitattiin vuonna 1987. Näiden mittaustulosten mukaan viljelykierrossa olleen maan vedenläpäisykyky oli tiivistetyissä koejäsenissä 20 - 40 cm:n syvyydessä parempi kuin kauralla

viljellyn maan. Tästä syvemmälle nurmiviljely ei näiden tulosten mukaan vaikuttanut, sillä tiivistetyn maan vedenläpäisykyky oli 40 - 60 cm:n syvyydessä tiivistetyissä koejäsenissä merkittävästi huonompi kuin tiivistämättömässä molemmilla viljelykiertoissa.

Savimaan mekaaninen vastus oli sekä nurmiviljelyssä että monokulttuurina viljellyssä maassa suurempi neljästi tiivistetyssä koejäsenessä kuin tiivistämättömässä, vaikka vedenläpäisykykytulosten mukaan maa oli toipunut nurmella ollessaan tiivistymisestä. Maan mekaaninen lujuus ei välttämättä ole viite huonosta vedenläpäisykyvystä, sillä lujakin maa läpäisee hyvin vettä, jos siinä on jatkuvia suuria huokosia.

Jokioisten savimaasta kolmen ensimmäisen koevuoden aikana tehtyjen määritysten mukaan pääosa tiivistymisestä kohdistui yleensä suuriin huokosiin ($\varnothing > 30 \mu\text{m}$). Kyntökerroksen alapuolella niiden tilavuus pieneni (1 - 5 %-yksikköä) usein lähes yhtä paljon kuin huokostilavuuskin. Tiivistäminen näytti kuitenkin pienentäneen myös keskisuurten ja pienten huokosten tilavuutta, mutta tavallisesti huomattavasti lievemmin kuin suurten huokosten. Myös muissa tutkimuksissa savimaan tiivistäminen on pienentänyt pääasiassa suurten huokosten tilavuutta (ERIKSSON 1976, AURA 1983, MARTI 1983, GAMEDA ym. 1988).

Suurten huokosten tilavuus oli tiivistetyssä savimaassa 10 - 20 cm:n syvyydessä alle 10 tilavuusprosenttia kahden ensimmäisen seurantavuoden näytteenottopaikoissa. Kyseinen luku oli kriittinen sadon määrän kannalta mm. RASMUSSENIN (1976) ja AURAN (1983) mukaan. Muokkauskerroksen tiivistyminen vaikuttikin ilmeisesti ensimmäisinä seurantavuosina osaltaan maan kasvukuntoon.

Eloperäisen maan tulosten mukaan tiivistäminen muutti huokostilavuutta huomattavasti vähemmän kuin huokosjakautamaa. Tiivistetyn ja tiivistämättömän maan huokostilavuuksien ero oli suurimmillaan alle 10 prosenttiyksikköä, mutta suurten huokosten tilavuutta tiivistäminen pienensi jopa 20 prosenttiyksikköä. Toisin kuin savimaassa tiivistäminen lisäsi

eloperäisessä maassa keskisuurten ja pienten huokosten tilavuutta (jopa 24 prosenttiyksikköä). Tiivistämisen vaikutusta eloperäisen maan hyötykapasiteettiin ei määritetty, joten ei tiedetä, kohdistuiko vesitilavuuden lisäys -10 kPa:n potentiaalissa keskisuuriin tai pieniin huokosiin vai moolimpiin.

Tiivistymisen vaikutusta orgaanisiin maitiin on tutkittu muualla melko vähän. Esimerkiksi ERIKSSON ym:t (1974) olettiivat, että tiivistäminen ei vaikuta merkittävästi ko. maala-jeilla. MYHRin ja NJØSin (1983) mukaan koneiden aiheuttama kuormitus tiivistä multa- ja turvemaita, jolloin niiden suurten huokosten tilavuus pieneni. MYHRin (1984) mittauksissa tiivistäminen vaikutti ilmatilavuuden ohella myös vesitilavuuteen, joka kasvoi.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen mukaan raskas, noin 16 tonnin teliakselikuormitus kosteahkolla pellolla, tiivistä sekä savimaata että eloperäistä maata ainakin puolen metrin syvyyteen. Tiivistymä säilyi mitattavana 30-50 cm:n syvyydessä koko 6-vuotisen seurantaajan ajan. Sen sijaan kyntökerroksesta tiivistymä hävisi vähitellen tänä aikana.

Raskaan akselikuormituksen aiheuttama maan tiivistyminen havaittiin suurten huokosten eli maan ilmatilavuuden pienenemisenä, savimaan vedenläpäisykyvyn selvänä heikkenemisenä sekä maan mekaanisen vastuksen lisääntymisenä. Kolmevuotinen nurmi kuohkeutti tiivistynyttä maata noin 40 cm:n syvyyteen.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- ALAKUKKU, L. & ELONEN, P. 1989. Tiiviin maan syväkuohkeutus. Koetoiminta ja Käytäntö 46:49.
- ALLISON, L.E. 1969. Organic carbon. Agronomy 9: 1367 - 1378.
- ANDERSSON, G., PIDGEON, J. D., SPENER, H. B. & PARKS, R. 1980. A new hand-held recording penetrometer for soil studies. J. Soil Sci. 31: 279 - 296.
- ANON. 1980. Working group on soil compaction by vehicles with high axle load. Sver. Lantbr.univ., Rapp. Jordbearbetningsavd. 60: 1 - 56.
- 1983a. Equipment for determining water permeability of a soil in situ using the augerhole method. Enkelkamp. Equipment for Soil Research B.V/Nijverheidsstraat 14-6987 EM Giesbeek. The Netherlands. 15 s.
- 1983b. SPSSX. Userguide. New York. 806 s.
- 1987. Instruction manual bush recording soil penetrometer. Mark I model 1979. Sindlay, Irvine ltd. Penicuik, Midlothian, Scotland. 53 s.
- AURA, E. 1983. Soil compaction by the tractor in spring and its effect on soil porosity. J. Sci. Agric. Soc. Finl. 55: 91 - 107.
- BLACKWELL, P. S. & SOANE, B. D. 1981. A method of predicting bulk density changes in field soils resulting from compaction by agricultural traffic. J. Soil Sci. 32: 51 - 65.
- BLAKE, G. R. 1965. Particle density. Agron. 9: 371 - 373.
- , NELSON, W. W. & ALLAMARAS, R. R. 1976. Persistence of subsoil compaction in a mollisol. J. Soil Sci. Soc. Amer. 40: 943 - 948.
- BOLLING, I. 1986. Beanspruchung des Bodens beim Schlepper- und Maschineneinsatz. KTBL-Schrift 308: 49 - 71.
- CANARACHE, A., CHIVULETE, S., COLBAS, I., COLIBAS, M., HOROBEANU, I., SIMOTA, H. & TRANDAFIRESCU, T. 1988. New field experimental research concerning induced soil compaction in Romania. Proc. 11th Intern. Conf. ISTRO, 11-15th July, 1988, Edinburgh, Scotland. 1: 215 - 220.
- CARPENTER, T. G., FAUSEY, N. R. & REEDER, R. C. 1985. Theoretical effect of wheel loads on subsoil stresses. Soil & Tillage Res. 6: 179 - 192.

- CURRIE, J. A. 1984. Gas diffusion through soil crumbs: The effects of compaction and wetting. *J. Soil Sci.* 35: 1 - 10.
- DANFORS, B. 1974. Packning i alven. *Jordbr.tekniska Inst. Specialmedd. S24*: 1 - 91.
- DICKSON, J. W. & SMITH, D. L. O. 1986. Conmaction of a sandy loam by a single wheel supporting one of two masses each at two ground pressures. *Scottish Inst. of Agric. Eng., Penicuik, Departmental Note No. SIN/479*: 1 - 13. (unpubl.).
- DUMBECK, G. 1984. Einfluss aussergewöhnlicher Druckbelastung auf das Bodengefüge und die Durchwurzelung. *Mitt. Deut. Bodenkundl. Ges.* 40: 61 - 62.
- EAVIS, B. W. 1972. Soil physical conditions affecting seedlings root growth. *Pl. and Soil* 36: 613 - 622.
- ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agr. Fenn.* 122: 1 - 122.
- 1980. Soil compaction - a severe problem in Finnish agriculture. *Sver. Lantbr.univ. Rapp. Jordbearbetningsavd.* 60: 41 - 45.
- ERIKSSON, J. 1976. Influence of extremely heavy traffic on clay soil. *Grundförbättring* 27: 33 - 51.
- , HÅKANSSON, I. & DANFORS, B. 1974. Jordpacking - markstruktur - gröda. *Jordbr.tekn. Inst. Medd.* 354: 1 - 82.
- FROELICH, H. A., MILLES, D. W. R. & ROBBINS, R. W. 1985. Soil bulk density recovery on compacted skid trails in central Idaho. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 49: 1015 - 1017.
- GAMEDA, S., RAGHAVAN, G. S. V., MCKYES, E. & THERIAULT, R. 1987a. Subsoil compaction in a clay soil. I. Cumulative effects. *Soil & Tillage Res.* 10: 113 - 122.
- , RAGHAVAN, G. S. V., MCKYES, E. & THERIAULT, R. 1987b. Subsoil compaction in a clay soil. II. Natural Alleviation. *Soil & Tillage Res.* 10: 123 - 130.
- , RAGHAVAN, G. S. V., MCKYES, E. & THERIAULT, R. 1984. Soil and crop response to high axle load subsoil compaction. Recovery and accumulation. *Amer. Soc. Agric. Eng. Paper No 84-1542*: 1 - 24.
- , RAGHAVAN, G. S. V., MCKYES, E., WATSON, A., MEHUYS, G. & DUVAL, J. 1988. Soil structure and crop

- response under heavy axle load compaction. Proc. 11th Intern. Conf. ISTRO, 11-15th July, 1988. Edinburgh, Scotland. 1: 263 - 268.
- HAMMEL, J. E. 1988. Influence of high axle loads on subsoil physical properties and crop yields in the Pacific Northwest, USA. Proc. 11th Intern. Conf. ISTRO, 11-15th July, 1988. Edinburgh, Scotland. 1: 275 - 280.
- HORN, R., BURGER, M., LEBERT, M. & BADEWITZ, G. 1987. Druckfortpflanzung in Böden unter langsam fahrenden Traktoren. Zeitschrift f. Kulturtechnik u. Flurberreinigung 28: 94 - 102.
- HÅKANSSON, I. 1979. Försök med jordpackning vid hög axelbelastning. Markundersökningar 1-2 år efter försökens åläggande. Sver. Lantbr.univ. Rapp. Jordbearbetningsavd. 57: 1 - 15.
- 1982. Long-term effects of vehicles with high axle load on subsoil compaction and crop response. Proc. 9th Intern. Conf. ISTRO, Yugoslavia, Osijek. p. 213 - 218.
- 1985. Swedish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. Soil Use Management 1: 113 - 116.
- & DANFORS, B. 1981. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. Intern. Soc. Terrain-vehicle Systems, 7th Intern. Conf., August 16-20, Calgary, Alberta, Canada. Proc. 1: 239 - 253.
- , VOORHEES, W. B., ELONEN, P., RAGHAVAN, G. S. V., LOWERY, B., VAN WIJK, A. L. M., RASMUSSEN, K. & RILEY, H. 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. Soil & Tillage Res. 10: 259 - 268.
- JUUSELA, T. & WÄRE, M. 1956. Suomen peltojen kuivatustila. Draining condition of the cultivated fields in Finland. Soil- and hydrotechn. Res. 8: 1 - 89.
- LEAMER, R. W. & LUTZ, J. F. 1940. Determination of pore-size distribution in soils. Soil Sci. 49: 347 - 360.
- MARTI, M. 1983. Effects of soil compaction and lime on yield and soil parameters on three silty clay loam soils in South Eastern Norway. Meld. Norges Landbr.högsk. 62(24): 1 - 28.

- MYHR, K. 1984. Verknad av gylle og jordpakking på in-
filtrasjon av vatn i dyrk torvjord. Forskn. Forsok i
Landbr. 35: 185 - 192.
- & NJØS, A. 1983. Verknad av traktorkjoring, fleire
slåtter og kalking på avling og fysiske jordegenska-
per i eng. Meld. Norges Landbr.høgsk. 62, 1: 1 - 14.
- PERDOK, U. D. & ARTS, W. B. M. 1987. The performance of agri-
cultural tyres in soft soil conditions. Soil &
Tillage Res. 10: 319 - 330.
- POLLARD, F. & WEBSTER, R. 1978. The persistence of the
effects of simulated tractor wheeling on sandy loam
subsoil. J. Agric. Eng. Res. 23: 217 - 220.
- PONNAMPERUMA, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils.
Adv. Agron. 24: 29 - 96.
- RAGHAVAN, G. V. S., MCKYES, E. ym. 1979. The relationship
between machinery, traffic and corn yield reductions
in successive years. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 22:
1256 - 1259.
- RASMUSSEN, K. J. 1976. Jordpakning ved færdsel om foråret.
II. Jordfysiske målinger. Tidsskr. Planteavl. 80:
835-856.
- RICHARDS, L. A. 1965. Physical conduction of water in soil.
Agron. 9: 128 - 152.
- & FIREMAN, M. 1943. Pressure-plate apparatus for
measuring sorption and transmission by soils. Soil
Sci. 56: 395 - 404.
- SCHAFFER, G. 1960. Eine Methode der Abscherwiderstands. Mes-
sung bei Ackerböden zur Beurteilung ihrer Struktur-
festigkeit im Felde. Landwirtschaftliche Forschung
XIII: 24 - 33.
- SCHMIDT, W. & ROHDE, S. 1986. Untersuchungen zur Wirkung von
Raddruck auf die Lagerungsdichte von Niedermoor-
boden. Arch. Acker-Pfl.bau Bodenkunde 30: 37 - 44.
- SIPPOLA, J. 1982. A comparison between a dry-combustion met-
hod and a rapid wet-combustion method for determi-
ning soil organic carbon. Ann. Agric. Fenn. 21:
146 - 148.
- SOMMER, C. 1976. Über die Verdichtungsempfindlichkeit von
Ackerböden. Grundl. Landtechnik 26: 14 - 23.
- & ALTERMÜLLER, H-J. 1982. Direkt- und Nachwirkungen
starker Verdichtungen auf das Bodengefüge und den

- Pflanzenertrag. Mitteilungen Deutschen Bodenkundl. Gesellsch. 34: 187 - 192.
- SOVERI, J. & VARJO, M. 1977. Roudan muodostumisesta ja esiintymisestä Suomessa vuosina 1955 - 1975. Vesientutkimuslaitoksen Julk. 20: 1 - 66.
- SVENSSON, H. 1987. Jordpackningens inverkan på sockerbetans rotutveckling och skördens storlek. Sver. Lantbr. univ. Rapp. Jordbearbetningsavd. 75: 1 - 31.
- SÖHNE, W. 1952. Die Kraftübertragung zwischen Schlepperreifen und Ackerboden. Grundlagen der Landtechnik 3: 75 - 87.
- 1953. Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grundl. Landtechnik 5: 49 - 63.
 - 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. Agric. Eng. 39: 276 - 281, 290.
- TAYLOR, J. H., BURT, E. C. & BAILEY, A. C. 1980. Effect of total load on subsurface soil compaction. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng. 23: 568 - 570.
- van den AKKER, J. J. H. 1988. Modelcomputation of subsoil stress distribution and compaction due to field traffic. Proc. 11th Intern. Conf. ISTRO, 11-15th July, 1988, Edinburgh, Scotland. 1: 403 - 408.
- van OUWERKERK, C. 1968. Two model experiments on the durability of subsoil compaction. Neth. J. Agric. Sci., 16: 204 - 210.
- VOORHEES, W. B. 1980. Soil compaction research in Minnesota. Sver. Lantbr.univ. Rapp. Jordbearbetningsavd. 60: 9 - 10.
- , EVANS, S. D. & WARNES, D. D. 1985. Effect of prep-lant wheel traffic on soil compaction, water use, and growth of springwheat. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49: 315 - 320.
 - , NELSON, W. W. & RANDAL, G. W. 1986. Extent and persistence of subsoil compaction caused by heavy axle loads. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50: 428 - 433.
 - , SENST, C. G. & NELSON, W. W. 1978. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the Northern corn belt. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 344 - 349.

- WEAVER, H. A. & JAMISON, V. C. 1951. Effects of moisture on tractor tire compaction. Soil Sci. 71: 15 - 23.
- YOUNG, R. A. & VOORHEES, W. B. 1982. Soil erosion and runoff from planting to canopy development as influenced by tractor wheel traffic. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng. 25: 708 - 712.

LIITTEET

LIITE 1. Kenttäkoekartat, joiden mukaan kokeet perustettiin vuonna 1981.

LIITE 2. Kenttäkokeiden hoidossa käytettyjen vetokoneiden teknisiä tietoja.

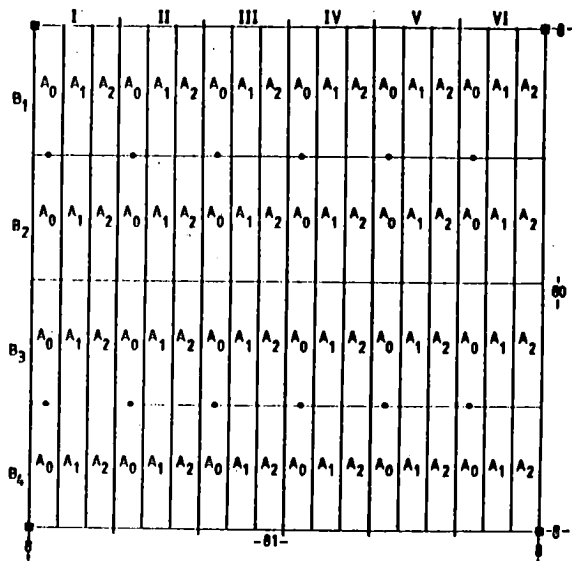
LIITE 3. Savimaan huokoisuussuhteet tilavuusprosentteina - 10 kPa:n vesipotentiaalissa vuosina 1982 - 1984 Jokioisissa.

LIITE 4. Eloperäisen maan huokoisuussuhteet tilavuusprosentteina - 10 kPa:n vesipotentiaalissa vuosina 1982 - 1984.

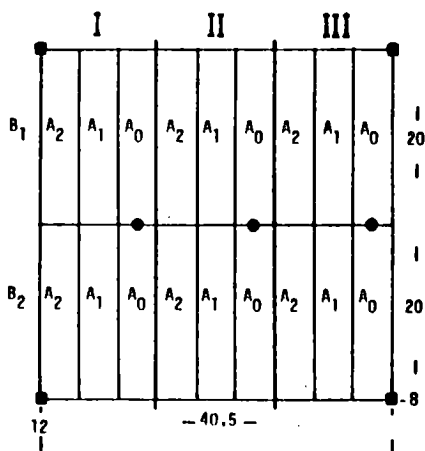
LIITE 5. Maan huokoisuussuhteet tilavuusprosentteina - 10 kPa:n vesipotentiaalissa Mouhijärvellä vuonna 1983.

LIITE 1. Kenttäkoekartat, joiden mukaan kokeet perustettiin vuonna 1981.

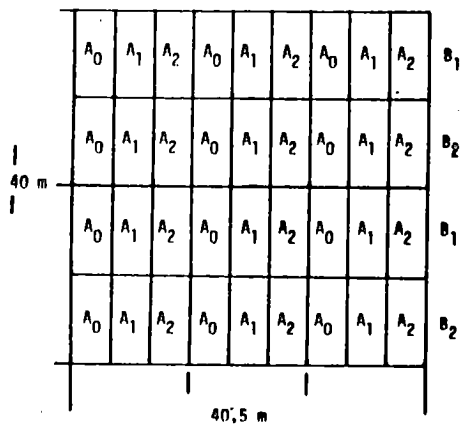
Ojainen



Kuuma



Mouhijärvi



Maan tiivistäminen

A₀ = tiivistämätön
 A₁ = tiivistäminen kerran
 A₂ = tiivistäminen neljä kertaa
 teliakselipaino 16 tn

Koekasvit (Ojainen)

B₁ = ohran monokulttuuri
 B₂ = kauran monokulttuuri
 B₃ = kevätvehnän monokulttuuri
 B₄ = viljelykierto

Koekasvit (Kuuma)

1982-1985
 B₁ = ohra
 B₂ = rypsi
 Kasvit vuorottelevat B₁ ja B₂
 paikoilla vuosittain
 1986-1987
 Koko kenttä: ohra

Koekasvit (Mouhijärvi)

1982
 B₁ = kaura
 B₂ = ohra
 Kasvit vuorottelevat B₁ ja B₂
 paikoilla vuosittain

Kenttäkoekartat laatinut P. Elonen

LIITE 2. Kenttäkokeiden hoidossa käytettyjen vetokoneiden teknisiä tietoja.

	Moottorin teho kW/ r/min	Kokonaismassa, kg	Etuakselipaino, kg	Taka-akselipaino, kg	Eturenkaat	Takarenkaat	Rengaspaine, kPa edessä	takana
Valmet 602 T-4	48/2300	2940	1190	1720	11,2-24	16,9-36	110	100
Ford 5000	44/2100	2520	905	1615	7,5-16	13,6-36	120	100
Sampo 25	38/2500	3500	2300	1200	14,9-24	8,5-12	120	140
Massey-Ferguson 8	41/1800	2700	-	-	12,4-20	6,5-16	120	140
Valmet 504 *)	37/2300	2690	-	-	7,5-16	14,9-30	120	120
Valmet 702 *)	50,4/2200	3365	1225	2140	7,5-18 tai 8,25-16	13,6-38 tai 16,9-34	150	120
Fahr M66S *)	47/2300	3705	2950	755	14,9-26	10-15	120	150

*) Mouhijärvi

LIITE 3. Savimaan huokoisuussuhteet tilavuusprosentteina - 10 kPa:n vesipotentialissa vuosina 1982 - 1984 Jokioisissa.

Syvyys, cm	Tiivistämätön						Neljä kertaa tiivistetty						Kerran tiivistetty						
	Maa		Vesi		Ilma		Maa		Vesi		Ilma		Maa		Vesi		Ilma		
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
Vuosi 1982																			
0 - 10	41,3	3,0	41,0	2,2	17,6	5,1	43,1	1,8	40,7	2,0	16,2	3,6							
10 - 20	44,8	1,6	42,0	0,6	13,9	2,1	48,6	2,8	41,8	1,1	9,5	3,6							
20 - 30	48,2	2,0	43,3	1,2	8,5	3,2	52,6	2,0	43,4	1,0	4,0	1,2							
30 - 40	52,4	2,3	39,8	4,4	8,0	2,4	58,5	1,6	37,4	1,8	4,1	1,1							
40 - 50	50,1	1,0	44,2	1,7	5,7	2,0	54,2	1,1	44,1	1,1	1,7	1,0							
50 - 60	53,1	1,1	43,9	0,2	3,1	1,0	54,2	0,5	44,2	0,4	1,6	0,4							
Vuosi 1983																			
0 - 10	41,0	3,4	35,4	2,3	23,6	4,8	41,5	4,0	36,3	3,0	22,2	7,0							
10 - 20	49,1	3,2	42,1	1,2	8,8	3,1	50,5	2,6	42,7	1,3	6,8	3,2							
20 - 30	48,4	2,3	42,5	1,7	9,1	4,1	53,4	4,4	41,3	2,7	5,3	2,6							
30 - 40	52,8	1,5	43,2	3,3	4,0	2,4	54,7	1,4	42,6	1,7	2,7	0,9							
40 - 50	48,7	0,9	44,8	1,4	6,6	0,9	52,2	1,1	43,0	0,8	4,8	1,3							
50 - 60	50,3	1,4	44,9	1,4	4,9	2,5	51,5	1,7	43,3	0,7	5,2	2,2							
Vuosi 1984																			
0 - 10	40,4	2,8	35,5	1,3	24,1	4,0	44,2	2,7	37,0	3,1	18,9	5,5	42,5	4,0	36,2	2,2	21,4	6,1	
10 - 20	42,4	4,5	38,1	1,9	19,5	6,3	44,6	3,7	38,0	1,2	17,4	3,6	47,5	3,9	38,8	2,0	13,7	5,7	
20 - 30	44,7	2,3	39,5	1,4	15,8	3,6	47,5	3,6	38,2	0,9	14,2	3,6	47,0	3,5	39,1	1,2	13,9	3,2	
30 - 40	47,1	2,9	39,3	3,9	13,7	4,3	48,9	3,2	38,7	3,1	12,4	1,6	48,8	3,7	36,7	2,6	14,5	4,1	
40 - 50	45,4	1,4	41,3	2,7	13,3	3,5	49,1	1,2	41,3	3,5	9,7	3,2	49,3	1,1	37,5	0,8	13,2	1,6	
50 - 60	45,9	0,8	42,6	0,8	11,5	1,6	48,5	1,0	41,5	1,8	10,1	1,8	49,1	1,9	40,0	1,5	10,9	3,0	

LIITE 4. Eloperäisen maan huokoisuussuhteet tilavuuspro-
sentteina - 10 kPa:n vesipotentialissa vuosina 1982 - 1984.

Syvyys, cm	Tiivistämätön						Neljä kertaa tiivistetty						Kerran tiivistetty					
	Maa		Vesi		Ilma		Maa		Vesi		Ilma		Maa		Vesi		Ilma	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Vuosi 1982																		
0 - 10	32,3	2,6	45,5	2,2	22,3	4,6	32,9	2,0	48,8	1,9	18,4	3,5						
10 - 20	36,3	1,9	45,7	1,4	18,1	3,3	41,0	1,2	48,2	4,3	10,8	3,6						
20 - 30	38,3	2,0	47,3	0,7	14,4	2,5	46,5	1,5	46,9	0,6	6,6	2,0						
30 - 40	24,1	2,8	41,6	2,2	34,3	4,0	25,6	2,4	51,4	1,8	23,0	4,1						
40 - 50	22,6	1,2	46,2	1,0	31,2	1,7	31,9	3,1	57,3	1,2	10,8	3,9						
50 - 60	30,3	5,0	53,5	6,0	16,2	10,7	34,7	2,2	58,0	1,7	7,3	2,2						
Vuosi 1983																		
0 - 10	24,5	1,0	43,9	2,6	31,6	3,5	23,9	2,4	45,3	1,6	30,8	1,2						
10 - 20	31,7	2,3	54,4	2,7	13,9	4,8	30,3	2,4	52,7	3,3	17,0	5,2						
20 - 30	30,5	2,1	52,2	4,0	17,3	6,1	29,7	2,0	54,4	4,0	15,9	5,4						
30 - 40	20,6	1,2	51,8	1,7	27,6	1,5	24,1	2,8	59,5	1,8	16,4	2,3						
40 - 50	29,5	2,5	55,0	1,8	15,6	4,1	27,1	2,6	60,8	0,8	12,1	3,3						
50 - 60	27,3	1,3	58,1	2,1	14,6	3,3	26,8	2,1	62,2	2,1	11,1	4,0						
Vuosi 1984																		
0 - 10	27,4	1,8	46,3	3,7	26,4	5,4	25,6	1,7	41,3	2,6	33,1	4,3	30,4	0,6	54,0	0,8	15,9	0,9
10 - 20	32,8	0,9	51,5	1,7	15,7	2,5	31,9	0,8	53,8	1,5	14,3	2,2	29,0	1,4	52,5	2,0	18,4	3,4
20 - 30	26,9	1,1	48,9	1,4	24,2	2,4	31,5	0,5	53,9	0,8	14,6	1,2	25,1	2,7	54,5	2,9	20,4	1,5
30 - 40	20,0	1,8	46,0	3,5	34,0	5,3	23,7	0,9	60,3	1,7	16,0	1,4	21,3	0,5	49,9	0,8	28,8	0,9
40 - 50	19,9	1,9	51,2	2,9	28,9	4,8	23,9	1,3	63,2	1,9	12,9	1,3	22,3	6,1	52,9	1,8	24,9	7,3
50 - 60	27,1	0,6	56,8	0,9	16,1	1,5	25,2	0,6	62,4	1,3	12,4	1,6	28,4	2,4	57,0	1,4	14,8	3,8

LIITE 5. Maan huokoisuussuhteet tilavuusprosentteina - 10
kPa:n vesipotentialissa Mouhijärvellä vuonna 1983.

Syvyys, cm	Tiivistämätön						Neljä kertaa tiivistetty					
	Maa		Vesi		Ilma		Maa		Vesi		Ilma	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
0 - 10	39,2	2,3	32,7	1,9	28,1	4,1	39,9	0,7	31,3	0,1	28,8	0,7
10 - 20	43,7	3,0	36,1	2,0	20,2	4,8	42,2	3,1	33,0	3,1	24,8	6,2
20 - 30	47,4	2,2	37,6	1,8	15,0	4,0	49,1	4,6	37,6	1,4	12,3	4,8
30 - 40	52,7	1,8	36,0	1,9	11,3	1,5	58,8	1,0	34,7	1,7	6,5	1,0
40 - 50	53,7	3,6	36,8	1,0	9,5	3,1	55,7	1,6	39,0	1,4	5,3	1,2
50 - 60	53,0	1,3	38,8	1,0	8,2	1,1	51,8	1,2	43,2	1,7	5,0	1,1

Laura Alakukku ja Paavo Elonen

RASKAAN AKSELIKUORMITUKSEN JÄLKIVAIKUTUS PELTOKASVIEN SATOON

Sisällysluettelo

	Sivu
ESIPUHE	42
TIIVISTELMÄ	43
1. JOHDANTO	44
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	45
2.1. Koekentät ja niiden perustus	45
2.2. Koekenttien viljely ja hoito	46
2.3. Kasvukauden aikaiset sääolot koejakson aikana	46
2.4. Aineiston keruu ja käsittely	47
3. TULOKSET	49
3.1. Kasvuston maksimipituus Jokioisissa	49
3.2. Sadon määrä	51
3.3. Puintikosteus	61
3.4. Tuhannensiemenenpaino	63
3.5. Hehtolitranspains	66
3.6. Kuiva-aineen raakavalkuaispitoisuus	68
4. TULOSTEN TARKASTELU	71
4.1. Sadon määrä	71
4.2. Sadon laatu	75
JOHTOPÄÄTÖKSET	77
KIRJALLISUUSLUETTELO	79
LIITTEET	83

ESIPUHE

Tämä tutkimus tehtiin Maatalouden tutkimuskeskuksen maanviljelyskemian ja -fysiikan osastolla. Paavo Elonen suunnitteli ja perusti tutkimukseen kuuluvat kenttäkokeet. Laura Alakukku käsitteli vuosina 1981-1987 kokeista kerätyn aineiston ja kirjoitti käsikirjoituksen.

Useat henkilöt ovat osallistuneet tutkimuksen kuluessa kenttäkokeiden hoitoon ja näytteiden analysointiin. Tohtori Simo Kivisaari johti tutkimusta vuosina 1982-1984. Sata-Hämeen tutkimusasemalla kenttäkokeen hoiti tutkimusaseman henkilökunta ensin johtaja Kalle Rinteen ja myöhemmin johtaja Tapani Kangasmäen johdolla. Jokioisten koekentän hoitoon osallistuvat maanviljelyskemian ja -fysiikan osaston kenttähenkilökunta mestari Risto Tannin johdolla. Sadon käsittelystä ja ulkoisen laadun analysoinnista vastasi tutkimusapulainen Marjatta Ahola työryhmineen. Tutkimussihteerit Rauha Kallio, vs. tutkimussihteerit Sinikka Salminen ja vs. toimistovirkailija Anne Väveri viimeistelivät julkaisun ulkoasun.

Esitämme parhaat kiitoksemme kaikille niille henkilöille, jotka ovat osallistuneet tutkimuksen eri vaiheissa sen toteutukseen.

Laura Alakukku

Paavo Elonen

TIIVISTELMÄ

Maatalouden tutkimuskeskuksen maanviljelyskemian ja -fysiikan osastolla perustettiin vuonna 1981 kolme kenttäkoetta, joissa selvitettiin voimakkaan maan tiivistämisen vaikutusta kasvien kasvuun, sadon määrään ja laatuun. Eryteisesti haettiin tietoa satovaikutuksen kestosta ja voimakkuudesta. Tässä tiedotteessa on käsitelty tulokset vuosilta 1982-1987.

Jokioisten hiuesavi/aitosavimaan tiivistäminen neljästi 19 tonnin teliakselipainolla syksyllä 1981 laski viljojen satoa usein yli 10 % kolmena ensimmäisenä jälkivaikutusvuonna. Sadon lasku oli ilmeisesti pääasiassa seurausta kyntökerroksen tiivistyneisyydestä. Sadot olivat tiivistymisen johdosta merkittävästi pienempiä myös kuudentena jälkivaikutusvuonna 1987, joka oli sateinen ja viileä. Sadon laskun aiheutti kyntökerroksien alapuolella säilynyt tiivistymä, jonka haitallisuutta maan pysyminen kosteana sateisena vuonna korosti.

Maan tiivistäminen kertaalleen vaikutti sadon määrään ja laatuun huomattavasti vähemmän kuin neljä tiivistyskertaa.

Maan tiivistyminen pakkotuleennutti kasvustoja, mikä ilmeni tiivistettyjen koejäsenten alhaisempana puintikosteutena tiivistämättömään verrattuna. Tuhannensiemenen- tai hehtolitrainpainoon maan tiiviys ei vaikuttanut merkittävästi. Sadon raakavalkuaispitoisuutta tiivistyneisyys sen sijaan laski useana vuonna merkittävästi. Lasku oli yleensä alle yhden prosenttiyksikön, mutta sekä sadon että raakavalkuaispitoisuuden laskiessa raakavalkuaissadot olivat tiivistetyssä maassa huomattavasti pienempiä kuin tiivistämättömässä.

Jokioisten savetulla turvemaalla ja Mouhijärven hiuesavi- maalla raskas tiivistäminen laski kasvien satoa ensimmäisenä koevuonna huomattavasti. Toisesta jälkivaikutusvuodesta lähtien kasvuston lakoontuminen heikensi satotulosten luotettavuutta Jokioisten eloperäisen maan kentällä ja myös Mouhijärvellä kauran osalta v. 1983 ja 1984.

1. JOHDANTO

Peltoviljely on viime vuosikymmeninä voimaperäistynyt ja yksipuolistunut. Samanaikaisesti pelloilla esiintyy entistä useammin erilaisia maan rakenneongelmia, etenkin maan haitallista tiivistymistä.

Peltoviljelyssä käytettävien koneiden ja laitteiden akseli- ja kokonaispainot ovat nousseet jatkuvasti. Samalla syvälle ulottuvan tiivistymän riski on kasvanut, vaikka pintapaine on yritetty pitää pienenä mm. rengasvarustusta suurentamalla. Sekä teoreettisesti että mittauksin on osoitettu, että maahan kohdistuva paine kulkeutuu syvimmälle suurimmalla akselipainolla, vaikka pintapaine olisi sama (SÖHNE 1952, TAYLOR ym. 1980, BOLLING 1986).

Kokeissa savimaa on tiivistynyt suuria akselipainoja käytettäessä 50 cm:n syvyyteen (HÅKANSSON 1979). Myös karkea ja orgaaninen maa voi melko helpostikin tiivistyä muokkauskerrosta syvemmältä (DUMBECK 1984, SCHMIDT ja ROHDE 1986). Syvälle ulottuva tiivistyminen on osoittautunut pitkäikäiseksi (van OUWERKERK 1968, BLAKE ym. 1976). Sen vaikutus on näkynyt myös kasvien kasvussa ja sadossa useita vuosia tiivistämisen jälkeen (HÅKANSSON 1985, LOWERY ja SCHULER 1988).

Myös Suomessa peltoviljelyssä käytettävien koneiden ja laitteiden akselipainot ovat nousseet huomattavasti. Maatalouden tutkimuskeskuksen maanviljelyskemian ja -fysiikan osastolla perustettiin syksyllä 1981 kolme kenttäkoetta, joiden avulla haluttiin selvittää raskaan tiivistyksen vaikutusta maan viljelyominaisuuksiin, kasvien kehitykseen, sadon määrään ja laatuun.

Koe oli osa kansainvälistä tutkimusta, johon kuului kaikkiaan 26 kenttäkoetta. Suomen lisäksi koekenttiä oli Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Hollannissa, Kanadassa ja Yhdysvalloissa. Osanottajajamaista kootun työryhmän (International Working Group on Soil Compaction by Vehicles with High Axle Load)

tavoitteena oli määritellä koesarjan antaman pohjatiedon avulla suositus peltoviljelyyn sopivien akselipainojen ylärajoista (ANON. 1980, HÄKANSSON ym. 1987).

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Koekentät ja niiden perustus

Kokeeseen kuului kolme kenttäkoetta, joista yksi oli Sata-Hämeen tutkimusasemalla Mouhijärvellä ja kaksi muuta Maatalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisissa. Sata-Hämeen kenttä oli multavaa hiuesavea, jossa oli runsaasti hiesua erityisesti kyntökerroksessa. Jokioisissa Ojaisten lohkon kentän muokauskerros oli multavaa hiuesavea ja sitä syvemältä maa oli aitosavea. Toinen Jokioisten koekentistä perustettiin Kuuman peltolohkelle. Se oli 40 - 50 cm:n syvyyteen savettua turvetta, jonka alapuolella maalaji muuttui liejuksi (ALAKUKKU 1989).

Kenttäkokeissa oli kolme tiivistyskäsittelyä: tiivistämätön (A_0), kerran (A_1) ja neljästi tiivistetty (A_2). Kerranteita oli Jokioisten savimaalla ja Mouhijärvellä kuusi sekä Jokioisten eloperäisellä maalla kolme. Toisena koejäsenenä oli viljelykasvi (B). Jokioisissa savimaalla viljelykasveja oli neljä ja muilla koekentillä kaksi. Kokeet perustettiin liitteessä 1 esitettyjen kenttäkoekarttojen mukaan.

Kenttäkokeet perustettiin syksyllä 1981, jolloin osa kesantona olleesta (Jokioinen) tai rukiin jälkeen kynnetystä ja äestetystä (Mouhijärvi) maasta tiivistettiin traktori-perävaunu-yhdistelmällä. Tiivistettäessä pyöränjäljet ajettiin vieriviereen, joten kuormitus peitti ruudun alan kauttaaltaan. Yhdistelmän suurin akselipaino oli n. 16-19 tn (teliakseli). Koekentät ja kokeiden perustus on selostettu tässä esitettyä tarkemmin tämän tiedotteen ensimmäisessä osassa (ALAKUKKU 1989).

2.2. Koekenttien viljely ja hoito

Jokioisten savimaalla viljeltiin ohraa, kauraa ja kevätvehnää monokulttuurina koko koejakson ajan (1982-1987). Neljäntenä tekijänä oli viljelykierto, jossa viljeltiin rypsiä, ohraa (suojavilja), nurmea (3v.) ja kevätvehnää. Viljelykierron avulla haluttiin selvittää apila-timotei-nurmen vaikutusta tiivistymään. Eloperäisellä maalla viljeltiin koejakson neljä ensimmäistä vuotta ohraa ja rypsiä. Sen jälkeen siirryttiin pelkästään ohran viljelyyn. Mouhijärvellä viljelykierto oli koejakson ajan sama: ohra-kaura. Liitteessä 2 on esitetty koepaikoilla käytettyjen viljelykasvien lajikkeet.

Kolmena ensimmäisenä koevuonna Jokioisissa viljojen typpilannoitus oli savimaalla n. 100 kg/ha. Ohran ja kauran lakoontumisen vuoksi sitä laskettiin seuraavina vuosina 10-20 kg/ha. Eloperäisen maan typpilannoitemäärä oli ensimmäisenä koevuonna 80 kg/ha ja sen jälkeen 60 kg/ha. Lannoitemäärän laskusta huolimatta eloperäistä maata typpilannoitettiin useana vuonna liikaa, koska varsinkin tiivistämättömän koejäsenen kasvusto lakoontui aikaisin. Mouhijärvellä lannoitettiin 60-80 kg N/ha. Liitteessä 2 on esitetty koepaikoilla käytetyt lannoitemäärät.

Viljelytoimet tehtiin tavallisilla maatalouskoneilla normaalia peltoviljelyä vastaavina aikoina. Ajolinjat valittiin siten, että kuormitus jakautui mahdollisimman tasaisesti koealalle. Liitteeseen 2 on koottu kokeiden kylvö- ja puintipäivät.

2.3. Kasvukauden aikaiset sääolot koejakson aikana

Jokioisissa satoi kaikkina koejakson kasvukausina keskimääräistä enemmän (taulukko 1). Tästä huolimatta useina kesinä oli poutajaksoja, joiden aikana maa kuivui ja halkeili melko syvältä. Esimerkiksi vuosina 1982 ja 1983 savimaassa mitattiin jopa 70 cm:n syvyyteen ulottuvia halkeamia. Eloperäisenkin maa halkeili kuivien jaksojen aikana, mutta halkeilu

oli lievää savimaan verrattuna. Kasvukauden lämpötila oli koejakson aikana lähellä pitkän aikavälin keskiarvoa lukuunottamatta vuosia 1983 ja 1987 (taulukko 1).

Mouhijärvellä oli vuonna 1982 erittäin kuivaa kesä-heinäkuussa, jolloin satoi 79 mm vähemmän kuin keskimäärin (taulukko 1). Vuosina 1983-1985 kasvukausi oli sateen osalta kaiken kaikkiaan keskimääräistä sateisempi. Vuosina 1983 ja 1984 alkukesästä satoi kuitenkin melko paljon. Kahtena viimeisenä koevuonna satoi runsaasti, mutta vuonna 1986 kesäkuu ja vuonna 1987 heinäkuu olivat selvästi keskimääräistä kuivempia. Lämpötilan osalta kasvukaudet olivat muuten lähellä pitkän aikavälin keskiarvoa, mutta vuosi 1987 oli viileä.

2.4. Aineiston keruu ja käsittely

Tässä tiedotteessa käsitellään kokeen kasvustohavainnot ja satotulokset vuosilta 1982-1987. Kenttäkokeissa seurataan edelleen tiivistymän jälkivaikutusta satoon.

Jokioisissa mitattiin vuosina 1982 ja 1983 tiivistämättömästä ja neljä kertaa tiivistetystä koejäsenestä kasvuston maksimipituus. Se mitattiin kaikilta kasveilta samasta kerranteesta tähkimisen jälkeen. Yhdestä ruudusta mitattiin viidestä vierekäisestä kylvörivistä 60 cm:n matkalta 12 pituusmittausta. Kaikista koejäsenistä saatiin siis 60 mittalukua, joiden keskiarvoista saatiin maksimipituustulokset. Savimaan kokeessa rypsin tulokset olivat vuonna 1982 40:n mittaluvun keskiarvoja.

Kasvusto puitiin kaikista saman kasvin koejäsenistä samana päivänä. Jokioisten savimaan nurmi korjattiin kahdesti kasvukaudessa: kesäkuussa (I) ja heinäkuussa (II). Jokioisissa viljojen sekä rypsin sato korjattiin keskimäärin 34,5 m²:n ja nurmen 24 m²:n nettoruudusta. Mouhijärvellä nettoruudun ala oli 10-12,5 m². Jokioisissa otettiin ruutusadon punnituksen jälkeen kunkin ruudun sadosta 40 g:n näyte puintikosteuden määrittämistä varten. Näyte kuivattiin 105 °C:n lämmössä. Kuiva-ainepitoisuuden avulla laskettiin puintikosteus pro-

Taulukko 1. Kuukausittainen sademäärä (mm) ja keskilämpötila (°C) kasvukauden aikana koeaikaikkain vuosina 1982 - 1987 (ANON. 1982 - 1987).

Kuu	1982		1983		1984		1985		1986		1987		1931-60	
	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C
Toukokuu	71	8,5	45	11,0	66	12,6	43	8,6	52	10,5	38	7,6	39	8,8
Kesäkuu	25	11,3	80	13,2	113	13,1	41	13,2	11	16,3	81	12,1	42	13,7
Heinäkuu	84	16,5	42	16,7	91	14,8	55	15,3	65	16,2	68	14,8	70	16,2
Elokuu	111	15,7	58	15,0	69	13,8	119	15,5	110	12,9	83	11,7	74	14,7
Syyskuu	67	9,7	86	11,1	77	9,2	51	8,9	102	6,4	120	8,4	61	9,7
Σ mm	358		311		416		309		340		390		286	
\bar{x} °C		12,3		13,4		12,7		12,3		12,5		10,9		12,6
Mouhijärvi														
Kuu	1982		1983		1984		1985		1986		1987		1931-60	
	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C
Toukokuu	51	8,3	37	11,1	17	12,7	38	8,3	50	10,6	47	7,3	38	8,8
Kesäkuu	26	11,4	90	13,4	91	13,4	55	13,6	13	16,3	83	12,2	54	13,7
Heinäkuu	24	16,7	66	16,4	101	14,8	54	15,3	88	16,1	41	14,4	75	16,6
Elokuu	117	15,5	30	14,2	39	13,9	98	15,1	135	12,5	133	11,3	80	14,9
Syyskuu	50	9,5	85	11,0	71	9,1	76	8,9	100	6,1	102	8,2	57	9,7
Σ mm	268		308		319		321		386		406		304	
\bar{x} °C		12,3		13,2		12,8		12,2		12,3		10,7		12,7

sentteina tuoremassasta. Sadot laskettiin kiloina hehtaarille viljojen kosteuden ollessa 15 % ja rypsin 9 %. Nurmesta laskettiin kuiva-ainesato.

Ruutujen satonäytteistä määritettiin Jokioisissa tuhannensiemenen- ja hehtolitranspainsä sekä kuiva-aineen typpipitoisuus. Typpipitoisuus määritettiin NIR-menetelmällä (Near Infrared Reflectance) keskuslaboratoriossa. Ohran ja kauran raakavalkuaispitoisuus laskettiin käyttämällä kerrointa 6,25 ja vehnän kertoimella 5,7. Mouhijärvellä ruutusadoista määritettiin tuhannensiemenen- ja hehtolitranspainsä vuosina 1982-1985.

Aineiston laskenta ja tilastollinen käsittely tehtiin Maatalouden tutkimuskeskuksessa käytettävillä SPSSX-ohjelmistoilla (ANON. 1983b). Kasvuston maksimipituustulokset testattiin tilastollisesti Studentin t-testillä. Koejäsenten välisen eron riskitaso merkittiin seuraavasti:

- yli 5 % (ei merkitsevä)
- * 1,0-5,0 % (merkitsevä)
- ** 0,1-1,0 % (hyvin merkitsevä)
- *** alle 0,1 % (erittäin merkitsevä)

Muut tulokset testattiin tilastollisesti varianssianalyysillä. Käsittelyjen välinen pienin merkitsevä ero 5 %:n riskitasolla laskettiin Tukeyn HSD-testillä (Honestly Significant Difference).

3. TULOKSET

3.1. Kasvuston maksimipituus Jokioisissa

Kasvuston maksimipituus mitattiin kahtena ensimmäisenä koevuonna Jokioisissa tiivistämättömästä ja neljä kertaa tiivistetystä koejäsenestä yhdestä kerranteesta kaikilta kasveilta.

Savimaan tiivistäminen lyhensi molempina vuosina kaurakasvusta erittäin merkittävästi. Myös kevätvehnän pituuskasvu kärsi merkittävästi tiivistymisestä, vaikka koejäsenten välinen ero olikin tasoittunut vuonna 1983 huomattavasti verrattuna vuoteen 1982. Ohran kasvua tiivistäminen häytti vasta toisena tiivistämisen jälkeisenä vuonna (taulukko 2).

Eloperäisen maan tiivistäminen lyhensi sekä ohran että rypsin maksimipituutta hyvin merkittävästi kumpanakin mittausvuonna (taulukko 3). Vilja kasvusto oli sekä savi- että eloperäisellä maalla epätasaisempaa vuonna 1982 kuin 1983. Rypsi-kasvuston tasaisuuteen tiivistäminen ei vaikuttanut kummallakaan kentällä (taulukot 2 ja 3).

Taulukko 2. Kasvuston maksimipituudet (cm) tiivistämättömässä (A_0) ja neljä kertaa tiivistetyssä (A_2) savimaassa vuosina 1982 ja 1983. Taulukossa on esitetty myös mittausten variaatioväli (vv).

	Ohra	vv	Kaura	vv	Kevät- vehnä	vv	Rypsi tai sv	vv
Vuosi 1982								OB
A_0	70	60-80	70	60-78	67	54-74	56	35-74
A_2	70	58-80	65	46-75	56	31-67	51	30-68
merk.	-		***		***		**	
Vuosi 1983								
A_0	64	59-71	67	55-73	60	49-64	74	66-84
A_2	58	50-65	59	49-65	54	46-65	66	59-74
merk.	***		***		**		***	

merk. = tilastollinen merkittävyys

sv = ohra nurmen suojaviljana vuonna 1983

Taulukko 3. Kasvuston maksimipituudet (cm) tiivistämättömässä (A_0) ja neljä kertaa tiivistetyssä (A_2) eloperäisessä maassa vuosina 1982 ja 1983. Taulukossa vv = variaatioväli.

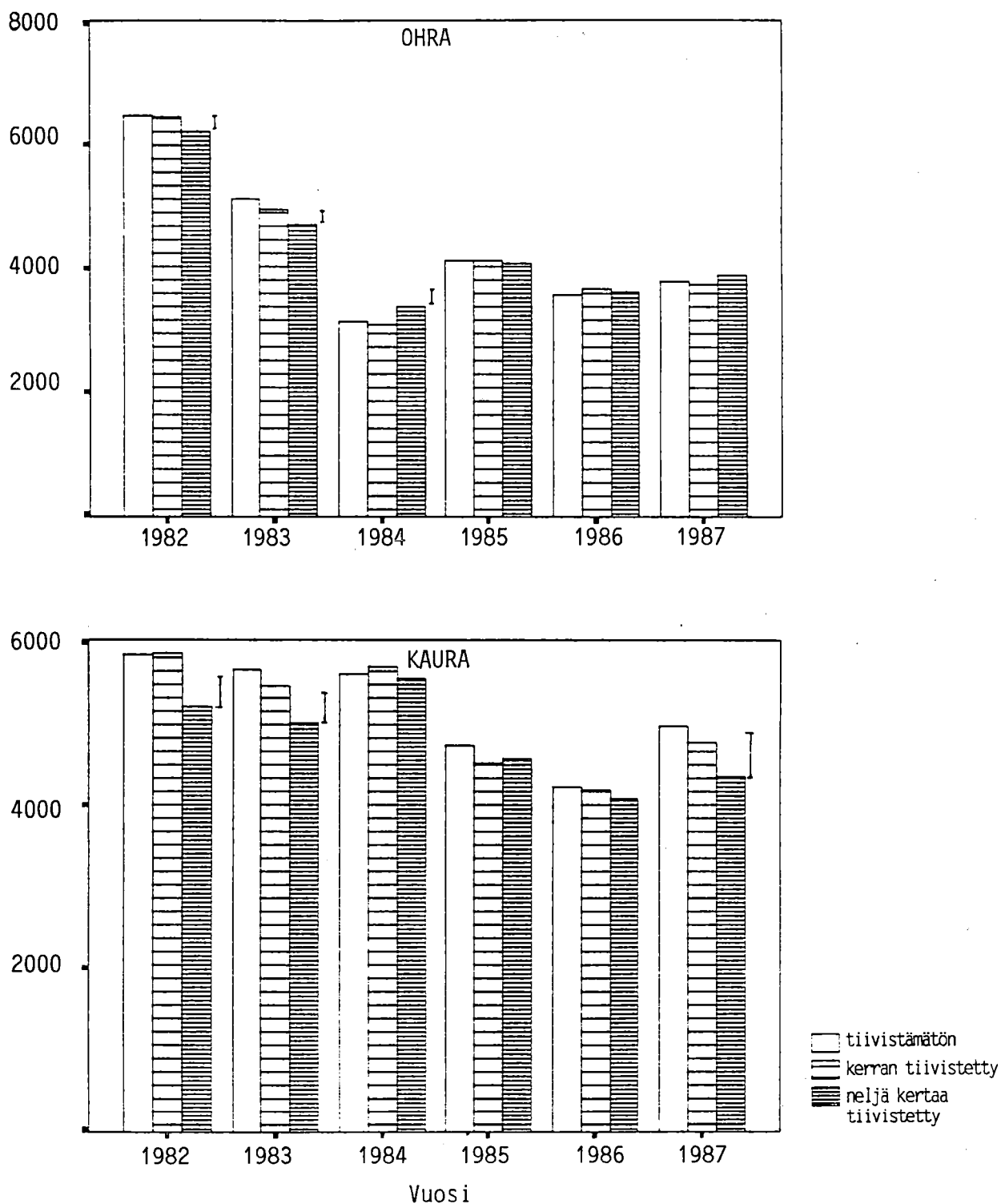
Tiivistys	Vuosi 1982				Vuosi 1983			
	Ohra vv	Rypsi	vv		Ohra	vv	Rypsi	vv
A_0	65	54-74	65	49-83	61	52-68	63	49-85
A_2	45	28-63	60	45-80	57	45-65	59	45-80
merk.	***		***		***		**	

merk. = tilastollinen merkitsevyys

3.2. Sadon määrä

Jokioisten savimaalla tiivistämisen vaikutus ohrasatoon oli melko lievä. Se laski satoa eniten vuosina 1982 ja 1983, jolloin ohran sadot olivat korkeimmat koejakson aikana (kuvio 1). Neljä tiivistyskertaa laski satoa merkitsevästi vuosina 1982 (260 kg/ha) ja 1983 (410 kg/ha). Kertaalleen tiivistetyn ja tiivistämättömän koejäsenen välinen satoero oli koejakson aikana 1 - 3 % (kuvio 3). Vuodesta 1984 alkaen kasvusto lakoontui tiivistämättömässä ja osittain myös kerran tiivistetyssä koejäsenessä aikaisin, mikä osaltaan vaikutti satotuloksiin. Eniten se vaikutti vuosina 1984 ja 1987.

Yhden tiivistyskerran vaikutus kaurasatoon ei ollut Jokioissa merkitsevä koejakson aikana (0-4 %). Maan tiivistäminen neljästi laski kaurasatoa huomattavasti enemmän kuin yksi tiivistyskerta (kuviot 1 ja 3). Neljästi tiivistetyn koejäsenen sato olikin merkitsevästi pienempi kuin muiden koejäsenten vuosina 1982, 1983 ja 1987. Sen sato oli tuolloin vähintään 600 kg/ha (12 %) pienempi kuin tiivistämättömän ja 400 kg/ha pienempi kuin kerran tiivistetyn. Vuonna 1984 kaura lakoontui ohran tapaan, mikä vaikutti tuloksiin. Vuosina 1985 ja 1986 tiivistämisen vaikutus satoon oli lievä. Silloin sato oli myös alhaisin koejakson aikana.

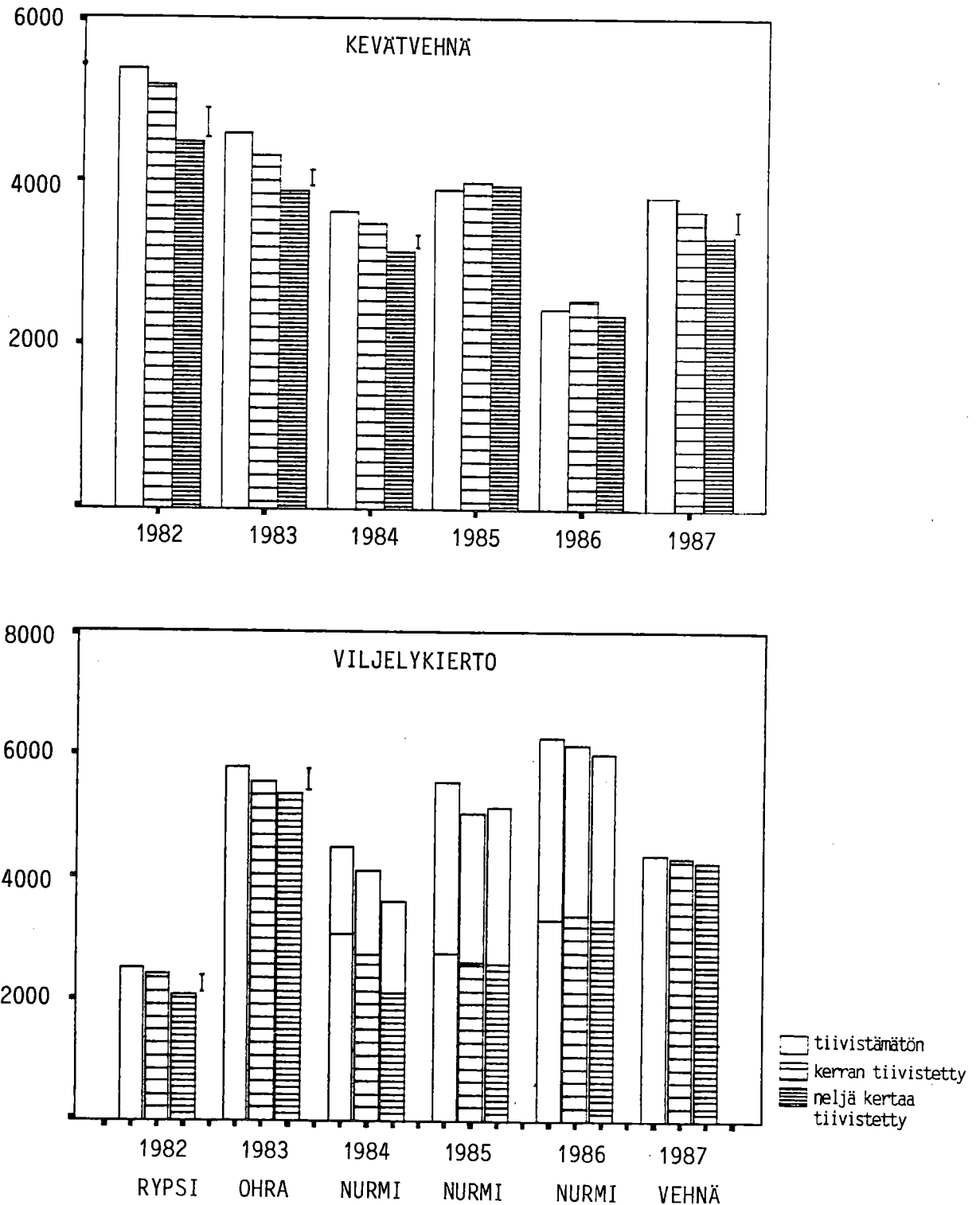


Kuvio 1. Ohran ja kauran hehtaarisadot (kg) koejäsenittäin Jokioisten savimaan kentällä vuosina 1982–1987. Janan pituus ilmoittaa käsittelyjen välisen pienimmän merkitsevän eron (kg/ha) laskettuna Tukeyn HSD-testillä 5 %:n riskitasolla. Tiivistämättömän koejäsenen aikainen lakoontuminen vaikutti ohran satotuloksiin etenkin v. 1984 ja 1987 ja kauran tuloksiin vuonna 1984.

Maan tiivistyminen laski kevätvehnän satoa selvästi kolmena ensimmäisenä seurantavuonna sekä sadekesänä 1987 (kuviot 2 ja 3). Yksi tiivistyskerta laski satoa noina vuosina 4-6 %. Lasku oli tilastollisesti merkitsevä vuosina 1983 ja 1984. Neljästi tiivistetyssä maassa sato oli merkitsevästi pienempi ko. vuosina kuin muissa koejäsenissä. Tiivistämättömään koejäseneseen verrattuna lasku oli keskimäärin 15 % (500 - 900 kg/ha). Vuosina 1985 ja 1986 kesä-heinäkuussa oli kuivaa, eikä koejäsenten välillä ollut suuria eroja.

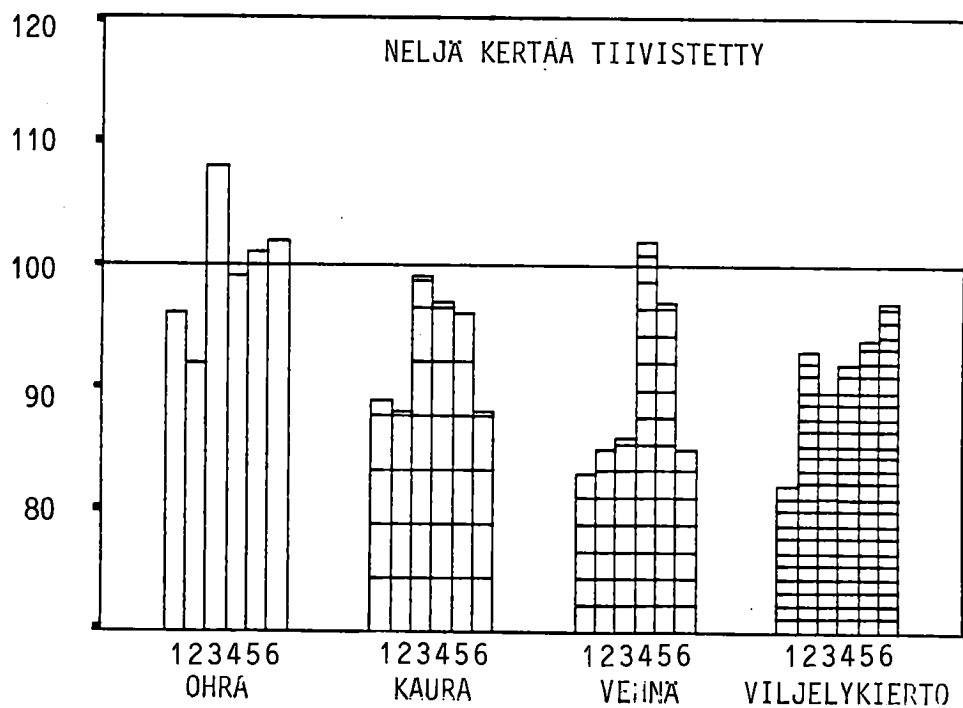
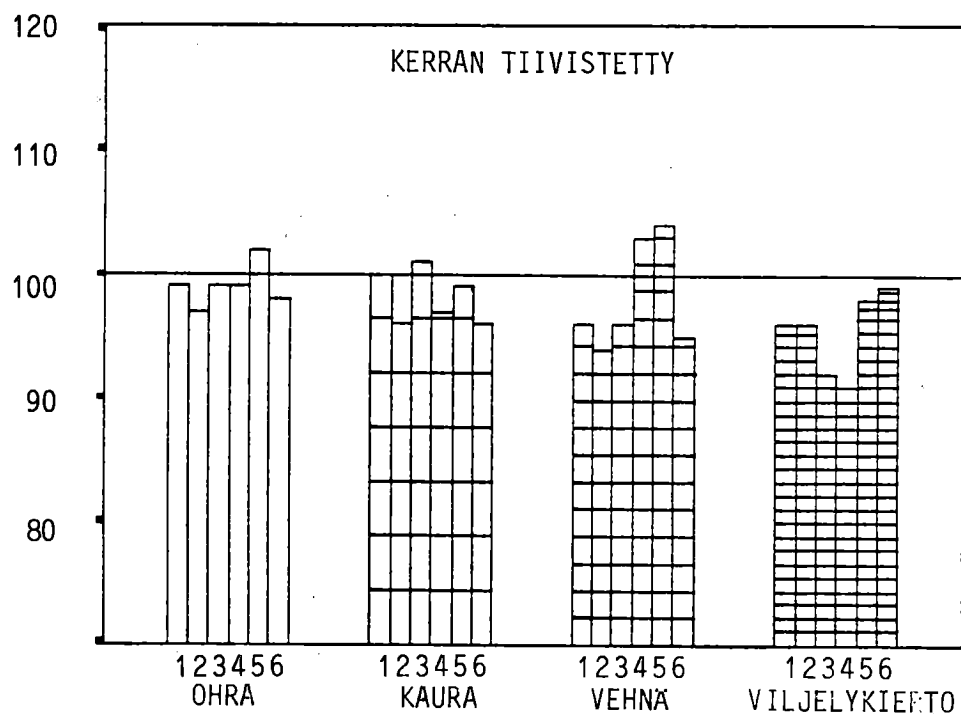
Jokioisten savimaan viljelykierrossa haluttiin selvittää nurmen vaikutusta tiivistymään. Kierrossa viljeltiin rypsiä, ohraa (suojavilja), nurmea (3v) ja kevätvehnää. Yksi tiivistyskerta ei laskenut merkitsevästi satoja koejakson aikana (kuvio 2). Suhteellisesti eniten se laski nurmen kuiva-ainesatoa vuosina 1984 ja 1985 (8 ja 9 %).

Maan tiivistäminen neljästi laski rypsisatoa merkitsevästi 450 kg/ha (18 %). Raju tiivistäminen laski myös suojaviljan satoa merkitsevästi (430 kg/ha). Nurmen kuiva-ainesato oli neljästi tiivistetyssä maassa vuonna 1984 870 kg/ha ja 1985 420 kg/ha pienempi kuin tiivistämättömässä, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Vuonna 1984 tiivistyminen laski erityisesti ensimmäisen niiton satoa. Seuraavina vuosina erot syntyivät toisessa niitossa. Nurmen jälkeen viljellyn kevätvehnän satoon maan tiivistäminen ei vaikuttanut merkitsevästi (kuviot 2 ja 3).



Kuvio 2. Kevätvehnän ja viljelykierrossa viljeltyjen kasvien hehtaarisadot (kg) koejäsenittäin Jokioisten savimaalla vuosina 1982–1987. Nurmen osalta on esitetty kuiva-ainesato. Pylvään viivoitettu osa on ensimmäisen niiton sato ja viivoittamaton yläosa toisen niiton sato. Janan pituus = pienin merkitsevä ero Tukeyn HSD-testillä 5 %:n riskitasolla.

Suht. sato, %



Vuosi

1. 1982
2. 1983
3. 1984
4. 1985
5. 1986
6. 1987

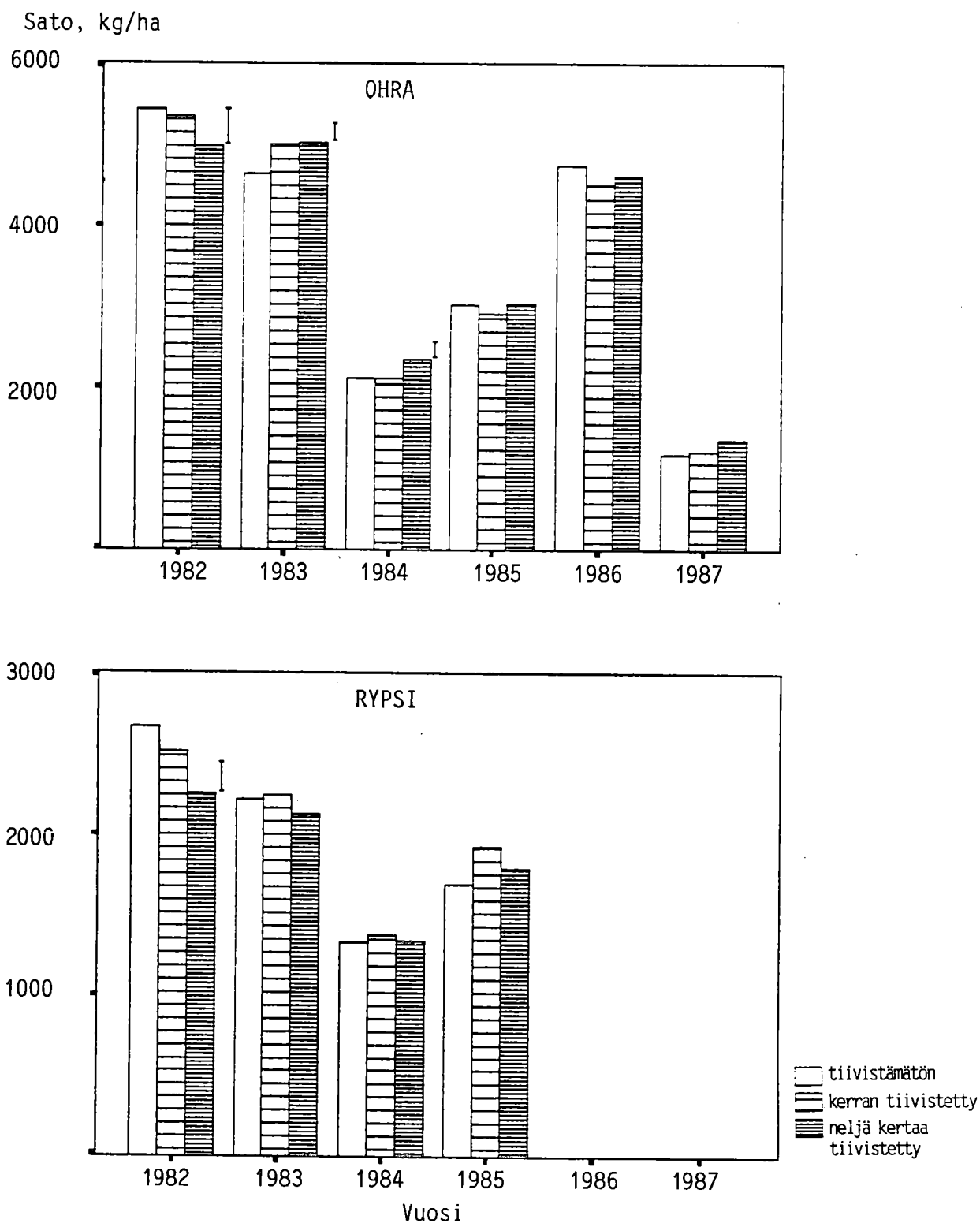
Kuvio 3. Jokioisten savimaan kokeessa viljeltyjen kasvien suhteelliset sadot vuosina 1982 - 1987. Tiivistetyn koejäsenen satoa on verrattu kunkin vuoden tiivistämättömän koejäsenen satoon (100). Liitteessä 3 on esitetty kasvien hehtaarisadot (kg) koejäsenittäin.

Eloperäisen maan kokeessa tiivistämättömän ja osittain myös kerran tiivistetyn koejäsenen aikainen lakoontuminen vaikutti johtopäätösten tekoa tiivistymisen jälkivaikutuksesta satoon. Ensimmäisenä seurantavuonna kasvusto pysyi pystyssä, mutta sen jälkeen kasvustot lakoontuivat lannoituksen vähentämisestä huolimatta. Vuonna 1986 lakoontuminen oli tosin melko lievää. Vuosi 1987 oli tämän kentän osalta katovuosi.

Ensimmäisenä seurantavuonna raju maan tiivistäminen laski sekä ohran (440 kg/ha) että rypsin (410 kg/ha) satoa merkittävästi (kuvio 4). Yhden tiivistyskerran vaikutus satoon oli molemmilla kasveilla melko lievä ja rypsilä merkittävästi pienempi kuin neljän tiivistyskerran. Vuonna 1986 ohrasato oli lakoontumisesta huolimatta tiivistetyssä koejäsenessä hieman pienempi kuin tiivistämättömässä.

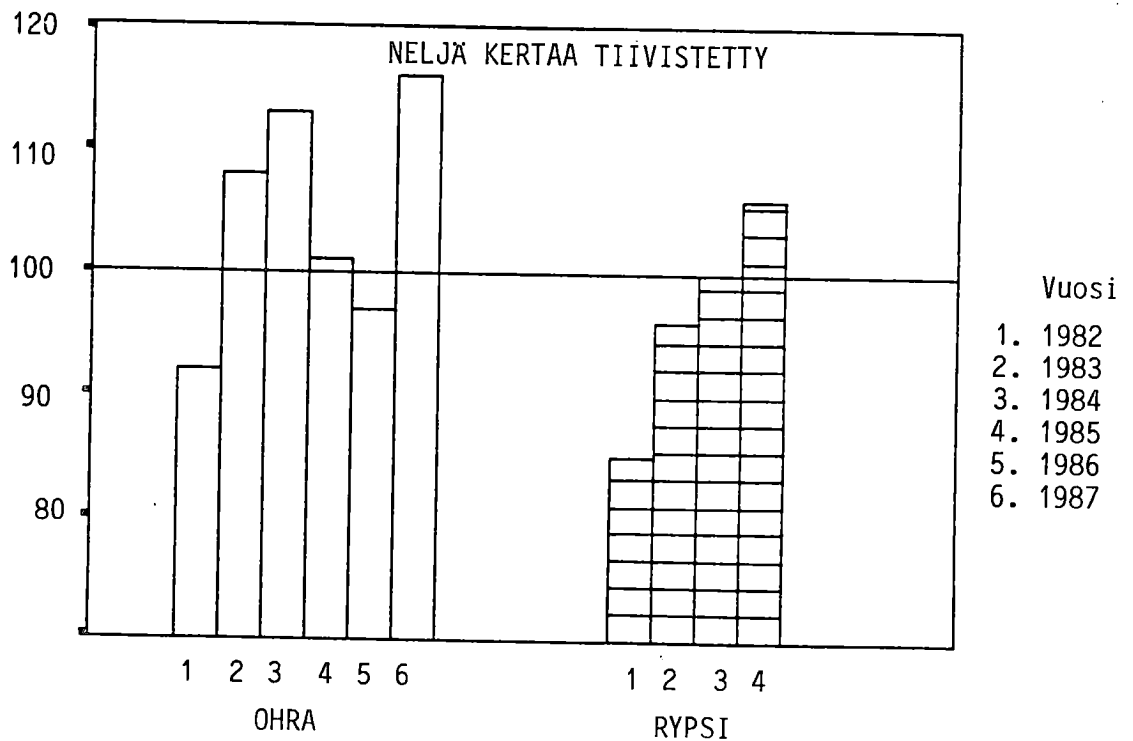
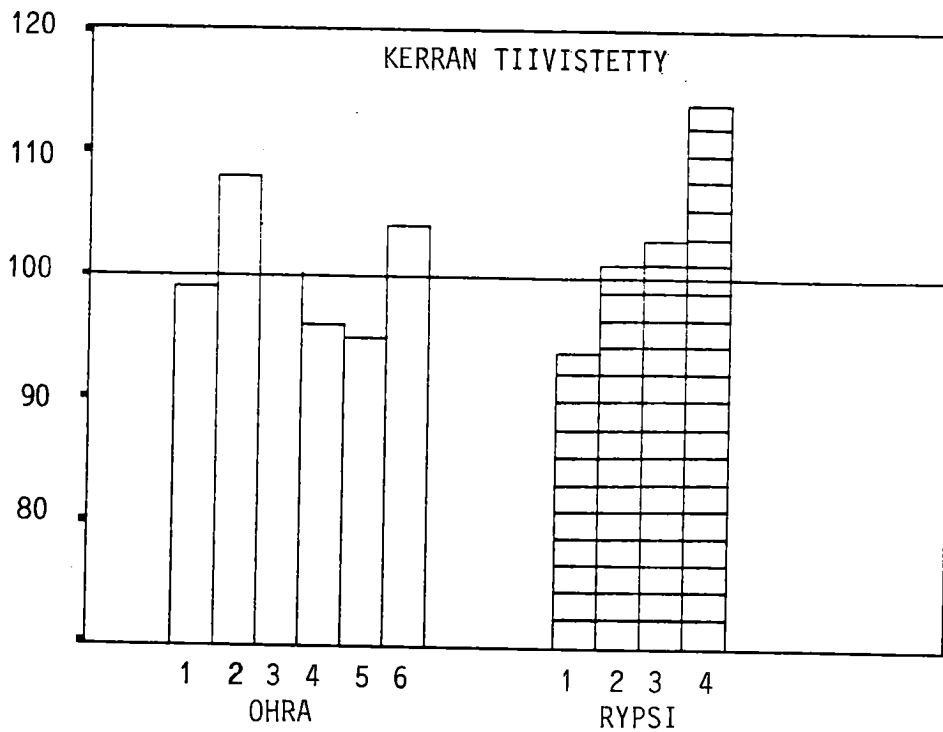
Eloperäisenkin maan kokeessa tiivistyminen vaikutti ensimmäisenä seurantavuonna voimakkaammin rypsin satoon kuin ohran (kuvio 5). Kerran tiivistetyssä koejäsenessä rypsin sato oli 6 % ja ohran 1 % pienempi kuin tiivistämättömässä. Neljä tiivistyskertaa laski rypsin satoa 15 % ja ohran 8 %. Lakoontumisesta huolimatta neljästi tiivistetyssä koejäsenessä rypsisato jäi koejakson aikana pienemmäksi kuin kerran tiivistetyssä (kuvio 5).

Mouhijärvellä raju maan tiivistäminen laski sekä ohran että kauran satoa merkittävästi vuonna 1982, jolloin kesä- ja heinäkuu olivat erittäin kuivia (kuvio 6). Ohran satoa se laski 690 kg/ha ja kauran 410 kg/ha. Samana vuonna myös yksi tiivistyskertaa laski ohrasatoa merkittävästi (270 kg/ha). Ohran suhteellinen sato laski tiivistyksen vaikutuksesta enemmän kuin kauran. Yksi tiivistyskertaa laski ohran satoa 9 % ja neljä 23 %. Kauran vastaavat luvut olivat 7 ja 14 % (kuvio 7).



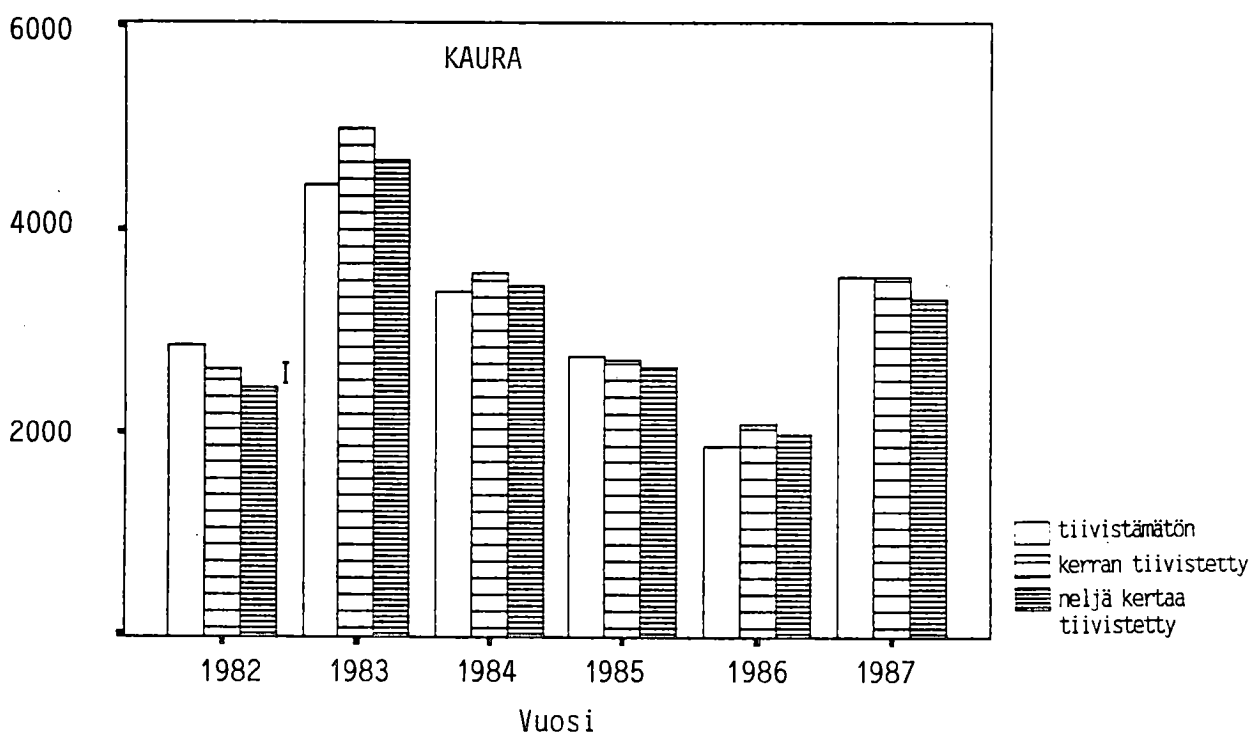
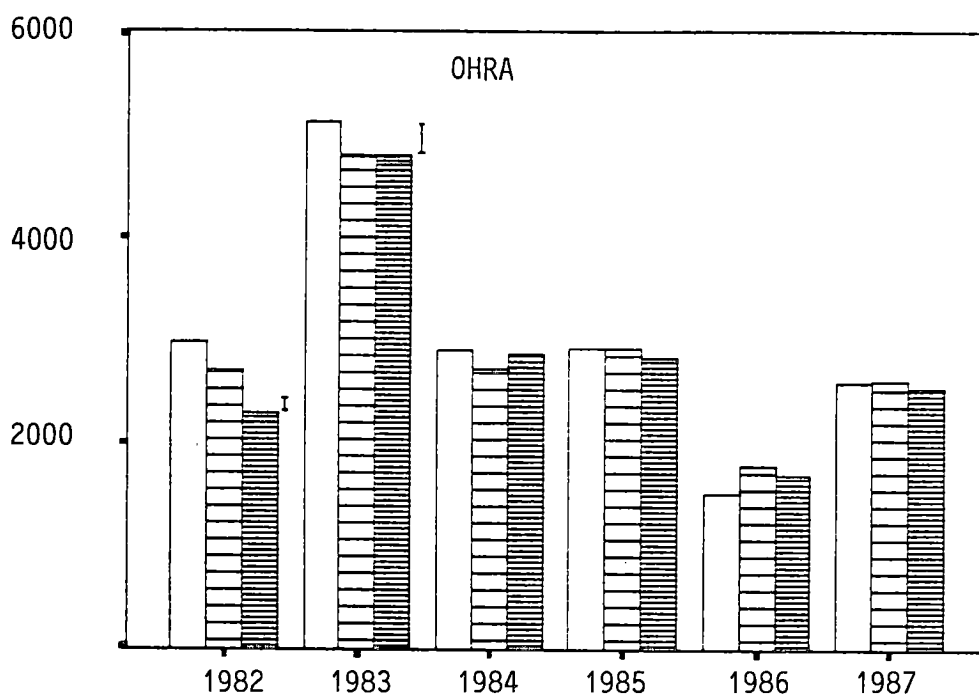
Kuvio 4. Ohran ja rypsin hehtaarisadot (kg) Jokioisten elope-
räisellä maalla koejäsenittäin vuosina 1982-1987. Janan
pituus = pienin merkitsevä ero Tukeyn HSD-testillä laskettuna
5 %:n riskitasolla. Lakoontuminen heikensi satotulosten lu-
tettavuutta vuodesta 1983 lähtien.

Suht. sato, %



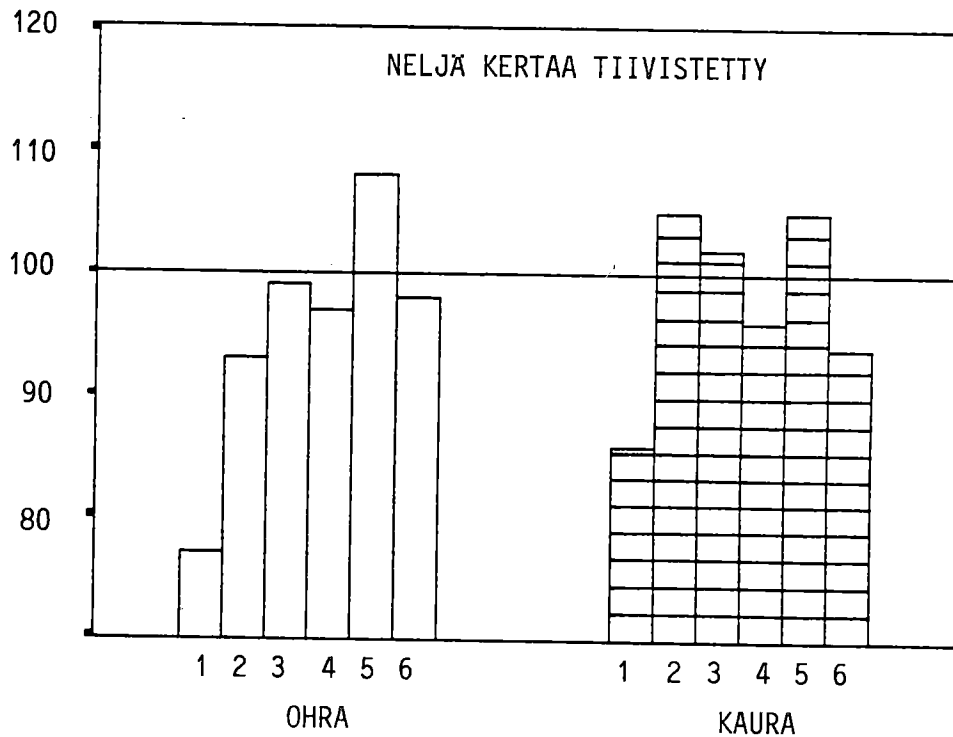
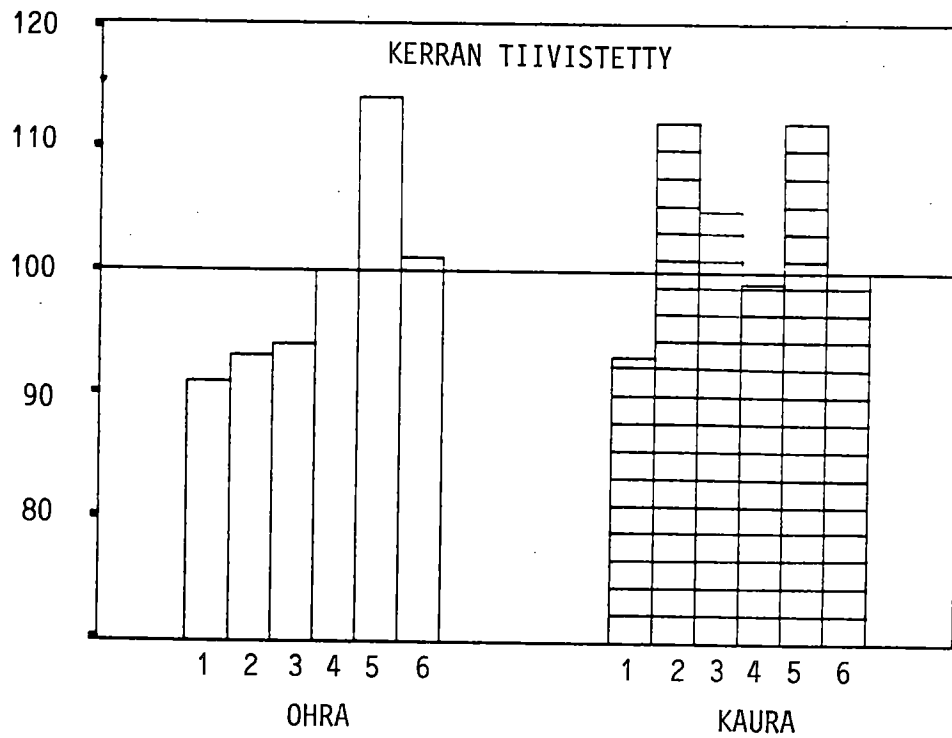
Kuvio 5. Ohran ja rypsin suhteelliset sadot eloperäisen maan kentällä vuosina 1982–1987. Tiivistettyjen koejäsenten satoa on verrattu kunkin vuoden tiivistämättömän koejäsenen satoon (100). Liitteessä 3 on esitetty kasvien hehtaarisadot (kg) koejäsenittäin. Lakoontuminen heikensi satotulosten luotettavuutta vuodesta 1983 eteenpäin.

Sato, kg/ha



Kuvio 6. Ohran ja kauran satotulokset (kg/ha) koejäsenittäin Mouhijärvellä vuosina 1982-1987. Janan pituus = pienin merkitsevä ero laskettuna Tukeyn HSD-testillä 5 %:n riskitasolla.

Suht. sato, %



Vuosi

1. 1982
2. 1983
3. 1984
4. 1985
5. 1986
6. 1987

Kuvio 7. Kauran ja ohran suhteelliset sadot koejakson aikana Mouhijärvellä. Kunakin vuonna 100 = tiivistämättömän koejäsenen sato, johon muita koejäseniä on verrattu. Liitteessä 3 on esitetty kasvien hehtaarisadot (kg) koejäsenittäin.

3.3. Puintikosteus

Jokioisten savimaalla viljelykasvien puintikosteus oli tiivistämättömässä koejäsenessä muutamaa poikkeusta lukuunottamatta muita koejäseniä suurempi koejakson aikana (taulukko 4). Maan tiivistymisen vaikutus oli suurin ja tilastollisesti merkitsevin ensimmäisenä koevuonna. Tuolloin kaikkien kasvien puintikosteus oli kerran tiivistetyssä enimmillään 2,1 ja neljästi tiivistetyssä koejäsenessä 5,7 prosenttiyksikköä pienempi kuin tiivistämättömässä. Yhden tiivistyskerran vaikutus puintikosteuksiin ei ollut yleensä tilastollisesti merkitsevä, mutta neljästi tiivistäminen oli useana vuonna.

Koko koejakson ajan tiivistyminen vaikutti eniten kevätvehnän puintikosteuteen, joka oli neljästi tiivistetyssä koejäsenessä merkitsevästi pienempi kuin tiivistämättömässä muina vuosina kuin 1985 ja 1986 (taulukko 4). Kevätvehnän kuten myös muiden viljakasvien puintikosteuksia tiivistäminen laski tavallisesti voimakkaimmin samoina vuosina kuin satoakin. Nurmen korjuuaikaiseen kuiva-ainepitoisuuteen tiivistäminen ei vaikuttanut merkitsevästi.

Eloperäisen maan koekentällä sadon puintikosteus oli ensimmäisenä koevuonna tiivistetyissä koejäsenissä alhaisempi kuin tiivistämättömässä (taulukko 5). Tuolloin maan tiivistyminen laski rypsin puintikosteutta merkitsevästi: yhden tiivistyskerran aiheuttama lasku oli 2,9 ja neljän 5,5 prosenttiyksikköä. Seuraavina vuosina puintikosteuksissa ei ollut merkitseviä eroja. Tiivistämättömän koejäsenen lakoontuminen vaikutti myös näiden tulosten luotettavuuteen.

Taulukko 4. Viljan ja rypsin puintikosteus sekä nurmen kuiva-ainepitoisuus (%) Jokioisten savimaan kentällä koejakson aikana. Taulukossa A_0 = tiivistämätön, A_1 = kerran ja A_2 = neljästi tiivistetty koejäsen. I = ensimmäinen ja II = toinen nurmen niitto. HSD 5 % = pienin merkitsevä ero Tukeyn HSD-testillä 5 % riskitasolla laskettuna.

Tiivistys	Ohra								
	1982	1983	1984	1985	1986	1987			
A_0	23,7	26,0	20,0	34,3	37,7	44,0			
A_1	23,6	25,8	19,7	34,3	37,2	43,4			
A_2	22,4	25,9	20,2	34,3	36,6	43,6			
HSD _{5%}	1,2	-	-	-	-	-			
	Kaura								
A_0	26,2	15,3	31,4	22,7	31,7	25,7			
A_1	24,9	15,3	30,6	22,7	31,0	25,1			
A_2	22,0	15,3	29,6	22,1	31,3	24,3			
HSD _{5%}	1,1	-	1,6	-	-	1,3			
	Kevätvehnä								
A_0	38,8	16,8	29,0	25,5	39,1	35,6			
A_1	36,7	16,6	28,2	25,3	39,4	35,5			
A_2	33,1	16,2	26,6	25,9	39,4	33,2			
HSD _{5%}	2,4	0,3	0,7	-	-	1,2			
	Rypsi	Ohra(sv)	Nurmi		Nurmi		Nurmi Kevät-		
			I	II	I	II	I	II	vehnä
A_0	24,9	21,1	13,8	7,1	25,2	15,6	17,0	15,4	41,9
A_1	23,5	21,0	13,5	7,6	23,0	15,1	16,7	15,1	40,2
A_2	20,5	19,9	14,9	8,3	23,7	15,3	16,5	14,8	37,4
HSD _{5%}	2,8	1,1	-	-	-	-	-	-	2,5

Taulukko 5. Viljelykasvien puintikosteudet (%) koejakson aikana eloperäisen maan kentällä. A_0 = tiivistämätön, A_1 = kerran ja A_2 = neljästi tiivistetty koejäsen. Lakoontuminen vaikutti tulosten luotettavuuteen vuodesta 1983 lähtien. HSD 5 % = pienin merkitsevä ero Tukeyn HSD-testillä 5 %:n riskitasolla.

Tiivistys	Ohra					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A_0	24,6	20,5	31,8	25,6	38,2	67,7
A_1	23,1	19,6	32,4	26,3	39,9	67,2
A_2	22,9	19,1	33,6	26,8	39,6	65,9
HSD _{5%}	-	-	-	-	-	-
	Rypsi					
A_0	21,6	24,7	27,3	27,1		
A_1	18,7	24,2	27,5	28,2		
A_2	16,1	23,5	28,6	27,6		
HSD _{5%}	2,8	-	-	-		

3.4. Tuhannensiemenenpaino

Jokioisten savimaan tiivistäminen ei vaikuttanut koejakson aikana tuhannensiemenenpainoihin merkitsevästi muutamaa poikkeusta lukuunottamatta (taulukko 6). Eniten tiivistyminen vaikutti viljelykierrossa viljeltyjen ohran ja kevätvehnän tuhannensiemenenpainoon, jota se nosti merkitsevästi.

Eloperäisellä maalla rypsin tuhannensiemenenpaino oli kaikissa koejäsenissä lähes sama koejakson aikana (taulukko 7). Ensimmäisenä seurantavuonna ohran tuhannenjyvänpaino oli tiivistetyissä koejäsenissä suurempi kuin tiivistämättömässä.

Yleensä erot olivat pieniä. Vuonna 1983 tiivistämätön kasvusto lakoontui, mikä näkyi merkitsevästi pienempänä jyväkokona. Lakoontuminen vaikeutti käsittelyjen välistä vertailua myös vuotta 1983 seuranneina vuosina.

Taulukko 6. Viljelykasvien tuhannensiemenenpainot (g) Jo-
kioisten savimaan kentällä koejakson aikana. A_0 = tiivistämä-
tön, A_1 = kerran ja A_2 = neljästi tiivistetty koejäsen. HSD 5
% = pienin merkitsevä ero Tukeyn HSD-testillä 5 %:n riskita-
solla laskettuna.

Tiivistys	Ohra					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A_0	39,3	33,3	25,3	33,5	39,7	28,0
A_1	39,5	33,2	25,4	33,5	39,5	28,3
A_2	39,1	33,2	25,7	33,7	40,0	29,2
HSD _{5%}	-	-	-	-	-	-
Kaura						
A_0	35,4	32,6	31,7	31,0	32,1	32,5
A_1	34,9	32,1	32,1	31,0	31,3	32,7
A_2	34,7	32,0	32,1	31,2	31,3	32,4
HSD _{5%}	-	-	-	-	-	-
Kevätvehnä						
A_0	33,8	34,4	23,9	33,5	33,7	31,5
A_1	33,8	33,7	24,3	33,3	33,9	31,9
A_2	33,6	33,9	24,1	33,4	34,1	31,5
HSD _{5%}	-	0,6	-	-	-	-
Rypsi Ohra (sv) Vehnä						
A_0	2,3	30,9				30,0
A_1	2,3	31,8				30,9
A_2	2,4	33,9				31,4
HSD _{5%}	-	1,4				0,8

Mouhijärven kentällä viljojen tuhannensiemenenpainoissa ei ollut yhtä poikkeusta lukuunottamatta merkitseviä eroja. Ensimmäisenä koevuonna, jolloin koejäsenten sadot erosivat eniten toisistaan, tiivistettyjen koejäsenten tuhannensiemenenpaino näytti olleen hieman suurempi kuin tiivistämättömän (taulukko 8).

Taulukko 7. Viljelykasvien tuhannensiemenenpainot (g) elope-
räisen maan kentällä koejakson aikana. A_0 = tiivistämätön, A_1
= kerran ja A_2 = neljästi tiivistetty koejäsen. Tiivistä-
mättömän ja osittain myös kerran tiivistetyn koejäsenen la-
koontuminen vuodesta 1983 lähtien heikensi tulosten luotetta-
vuutta.

Tiivistys	Ohra					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A_0	37,4	30,9	24,4	22,7	34,1	14,5
A_1	37,9	32,1	23,4	23,0	33,3	14,1
A_2	38,1	32,8	23,4	23,2	33,7	15,0
HSD _{5%}	-	1,4	-	-	-	-
Rypsi						
A_0	2,2	2,6	2,4	2,2		
A_1	2,2	2,6	2,4	2,2		
A_2	2,2	2,6	2,3	2,2		

Taulukko 8. Ohran ja kauran tuhannensiemenenpainot (g) Mou-
hijärven kentällä vuosina 1982-1985. A_0 = tiivistämätön, A_1 =
kerran ja A_2 = neljästi tiivistetty koejäsen.

Tiivistys	Ohra			
	1982	1983	1984	1985
A_0	33,3	41,6	31,7	37,5
A_1	34,7	41,4	32,6	37,2
A_2	34,1	41,2	30,0	35,8
HSD _{5%}	-	-	-	1,7
Kaura				
A_0	34,3	36,8	34,8	32,2
A_1	34,8	36,6	34,5	31,1
A_2	34,7	37,1	35,6	31,4
HSD _{5%}	-	-	-	-

3.5. Hehtolitranspains

Jokioisten savimaalla viljojen hehtolitranspains ero oli koejäsenteen välillä tavallisesti vajaan kilon suuruinen (taulukko 9). Tiivistetyissä koejäsenissä hehtolitranspains oli usein hieman korkeampi kuin tiivistämättömässä ja kerran tiivistetyissä pienempi kuin neljästi tiivistetyissä. Eniten ja merkitsevästi maan tiivistäminen neljästi nosti viljelykierrossa viljeltyjen ohran (2,7 kg) ja kevätvehnän (1,6 kg) hehtolitranspainsa. Kauran lakoontuminen tiivistämättömässä koejäsenessä oli syynä vuonna 1984 hehtolitranspains eroihin.

Eloperäisen maan kokeessa ohran hehtolitranspains oli varsinkin neljästi tiivistetyissä koejäsenessä hieman suurempi kuin tiivistämättömässä (taulukko 10). Vuonna 1983 lakoontuneen tiivistämättömän koejäsenen hehtolitranspains oli merkitsevästi tiivistettyjä koejäseniä pienempi. Lakoontuminen heikensi myös vuotta 1983 myöhempien tulosten luotettavuutta. Vuosi 1987 oli tämän kentän osalta katovuosi.

Mouhijärven kokeessa ohran ja kauran hehtolitranspainsissa ei ollut käsittelyjen välillä merkitseviä eroja. Tiivistetyissä koejäsenissä se oli vuotta 1983 lukuunottamatta hieman pienempi tai yhtä suuri kuin tiivistämättömässä (taulukko 11).

Taulukko 9. Viljojen hehtolitrainpaino (kg) koejäsenittään Jokioisten savimaan kentällä vuosina 1982-1987. A_0 = tiivistämätön, A_1 = kerran ja A_2 = neljästi tiivistetty koejäsen.

Tiivistys	Ohra					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A_0	71,7	66,8	60,8	63,4	65,2	53,8
A_1	71,7	66,7	61,0	63,3	65,2	54,3
A_2	71,7	66,8	61,1	63,4	65,0	55,5
HSD _{5%}	-	-	-	-	-	-
Kaura						
A_0	61,8	60,0	53,2	54,6	53,9	53,6
A_1	61,5	60,1	53,7	54,6	53,9	53,6
A_2	62,5	60,6	54,2	54,4	53,9	53,6
HSD _{5%}	0,6	-	0,7	-	-	-
Kevätvehnä						
A_0	80,6	81,4	70,3	79,8	76,6	69,2
A_1	80,6	81,3	70,5	79,8	76,6	69,4
A_2	81,1	81,2	70,9	79,9	76,5	70,1
HSD _{5%}	0,3	-	-	-	-	0,6
			Ohra (sv)		Vehnä	
A_0			66,9		67,1	
A_1			67,9		67,7	
A_2			69,6		68,7	
HSD _{5%}			1,6		1,1	

Taulukko 10. Ohran hehtolitrainpaino (kg) koejäsenittäin koejakson aikana eloperäisen maan kokeessa. A_0 = tiivistämätön, A_1 = kerran ja A_2 = neljästi tiivistetty koejäsen. Lakoontuminen tiivistämättömässä ja osittain myös kerran tiivistetyssä koejäsenessä heikensi satotulosten luotettavuutta vuodesta 1983 alkaen.

Tiivistys	Ohra					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A_0	69,7	66,3	51,2	53,0	60,0	27,1
A_1	71,0	67,5	50,9	53,3	59,7	26,3
A_2	71,7	68,2	52,1	53,6	60,2	28,6
HSD _{5%}	-	1,1	-	-	-	-

Taulukko 11. Ohran ja kauran hehtolitrainpainot (kg) Mouhijärven kokeessa koejäsenittäin vuosina 1982-1985. A_0 = tiivistämätön, A_1 = kerran ja A_2 = neljästi tiivistetty koejäsen.

Tiivistys	Ohra			
	1982	1983	1984	1985
A_0	58,5	61,1	56,0	57,3
A_1	58,5	61,4	54,8	57,2
A_2	58,4	61,5	55,4	56,8
	Kaura			
	1982	1983	1984	1985
A_0	49,6	51,3	48,4	45,3
A_1	49,0	51,5	48,3	45,3
A_2	48,7	51,7	48,4	43,9

3.6. Kuiva-aineen raakavalkuaispitoisuus

Raakavalkuaispitoisuus laski merkitsevästi monesti samoina vuosina kuin satokin. Tiivistetyissä koejäsenissä raakavalkuaissatoa pienensikin näiden tulosten perusteella sadon määrän ohella myös alhainen raakavalkuaispitoisuus.

Taulukko 12. Viljelykasvien kuiva-aineen raakavalkuaispitoisuus (%) koejäsenittäin vuosina 1982-1987 Jokioisten savimaan koekentällä. A₀ = tiivistämätön, A₁ = kerran ja A₂ = neljästi tiivistetty koejäsen.

Tiivistys	Ohra					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A ₀	13,2	10,5	12,9	12,2	14,8	11,7
A ₁	12,3	10,4	12,3	12,1	14,5	11,5
A ₂	11,5	10,0	12,4	11,7	14,6	11,2
HSD _{5%}	1,0	0,3	-	-	-	-
Kaura						
A ₀	15,1	11,5	12,0	12,0	13,2	10,2
A ₁	14,8	11,0	11,4	11,5	12,9	10,1
A ₂	14,3	10,4	10,9	11,4	13,4	10,0
HSD _{5%}	-	1,0	0,4	-	-	-
Kevätvehnä						
A ₀	13,4	12,0	13,2	13,2	17,2	11,5
A ₁	13,2	11,4	13,1	13,2	17,3	11,3
A ₂	13,0	11,2	12,2	12,8	17,1	10,9
HSD _{5%}	-	0,6	0,9	-	-	0,4
Rypsi Ohra (sv) Vehnä						
A ₀	22,8	11,0				12,4
A ₁	21,8	10,3				12,5
A ₂	21,7	9,2				11,5
HSD _{5%}	-	1,0				-

Jokioisten savimaalla tiivistetyissä koejäsenissä oli alhaisempi raakavalkuaispitoisuus kuin tiivistämättömässä (taulukko 12). Muutamaa poikkeusta lukuunottamatta käsittelyjen välinen ero oli alle yhden prosenttiyksikön. Kerran tiivistetyn koejäsenen raakavalkuaispitoisuus oli yleensä

korkeampi kuin neljästi tiivistetyn. Kaikkien koekasvien raakavalkuaispitoisuus oli vuonna 1983 neljästi tiivistetyssä koejäsenessä merkitsevästi pienempi kuin tiivistämättömässä. Kevätvehnän pitoisuuksissa oli myös vuosina 1984 ja 1987 merkitseviä eroja. Näinä kolmena vuonna satoi kesäkuussa huomattavasti keskimääräistä enemmän. Maan pysyessä pitkään märkänä tyyppi on voinut denitrifioitua.

Eloperäisen maan kokeessa raakavalkuaispitoisuus oli tiivistetyissä koejäsenissä alhaisempi kuin tiivistämättömässä ensimmäisenä koevuonna (taulukko 13). Erot eivät olleet kuitenkaan merkitseviä. Kasvustojen lakoontuminen vaikutti osaltaan myös näihin tuloksiin vuodesta 1983 lähtien. Tiivistetyissä koejäsenissä raakavalkuaispitoisuus saattoikin olla tiivistämättömää pienempi myös siksi, että niiden sato oli suurempi.

Taulukko 13. Ohran ja rypsin kuiva-aineen raakavalkuaispitoisuus (%) koejäsenittäin koejakson aikana eloperäisen maan kokeessa. A_0 = tiivistämätön, A_1 = kerran ja A_2 = neljästi tiivistetty koejäsen. Vuodesta 1983 lähtien lakoontuminen heikensi tulosten luotettavuutta. Käsittelyjen välillä ei ollut merkitseviä eroja, joten HSD:tä ei laskettu.

Tiivistys	Ohra					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A_0	12,5	13,5	18,2	17,9	15,7	17,3
A_1	12,0	13,6	17,7	18,0	15,6	17,5
A_2	11,7	12,8	16,7	16,0	15,2	17,2
HSD _{5%}	-	-	-	-	-	-
	Rypsi					
A_0	25,6	25,6	24,7	24,0		
A_1	24,1	24,5	23,5	24,2		
A_2	22,7	24,2	23,9	24,2		
HSD _{5%}	-	-	-	-		

4. TULOSTEN TARKASTELU

Tarkasteltavat kokeet perustettiin syksyllä 1981 Jokioisissa savi- ja eloperäiselle maalle ja Mouhijärvellä hiesuiselle hiuesavelle. Suurin tiivistävä akselipaino oli n. 16 tn (te-liakseli), jolla maa tiivistettiin kertaalleen tai neljä kertaa. Tiivistymä ulottui huomattavasti kyntösyvyyden alapuolelle, eikä se hävinnyt muokkauskerroksen alapuolelta kuuden seurantavuoden aikana (ALAKUKKU 1989). Tässä tiedotteessa käsiteltiin tulokset vuosilta 1982-1987.

Koekentillä viljeltiin pääasiassa viljoja. Jokioisissa viljeltiin myös rypsiä ja savimaan kentällä nurmea. Peltotyöt tehtiin kaikille koejäsenille samana päivänä saman kasvin osalta.

Jokioisissa maan tiivistyminen heikensi viljelykasvien vegetatiivista kasvua kahtena ensimmäisenä seurantavuonna. Kasvuston maksimipituus oli tuolloin merkitsevästi lyhyempi neljästi tiivistetyssä koejäsenessä kuin tiivistämättömässä sekä savi- että eloperäisellä maalla. Myös PRIHAR ym. (1975) ja ERIKSSON (1982) totesivat tiivistymisen lyhentäneen viljan pituuskasvua huomattavasti. LOWERYn ja SCHULERin (1988) mukaan voimakas tiivistymä lyhensi kasvuston pituutta usean vuoden ajan. Savimaan kokeessa tiivistyminen näytti lisänneen viljakasvuston epätasaisuutta alkuvuosina, minkä totesivat myös GAULTNEY ym. (1982).

4.1. Sadon määrä

Jokioisten savimaan tiivistäminen laski viljelykasvien satoa eniten kolmena ensimmäisenä ja kuudentena seurantavuonna. Tuolloin kevätvehnän sato oli neljästi tiivistetyssä koejäsenessä merkitsevästi pienempi kuin tiivistämättömässä. Kolmantena koevuonna kauran lakoontuminen heikensi tulosten luotettavuutta, mutta muina ko. vuosina raju tiivistys laski myös sen satoa merkitsevästi.

Savimaan kertatiivistys laski kasvien satoa huomattavasti, monesti merkitsevästi, vähemmän kuin neljä tiivistyskertaa. Kertaallisen tiivistyksen aiheuttama sadon lasku ei ollut tavallisesti merkitsevä. Suhteellisesti eniten se laski nurmen satoa vuosina 1984 ja 1985 (8-9 %). Viljoilla lasku oli korkeimmillaan 6 %. Neljästi tiivistettäessä sato sen sijaan laski useana vuonna yli 10 % (4-19 %). Suhteellinen sadon lasku tiivistetyissä koejäsenissä oli kokeen alkuvuosina hieman lievempi kuin muissa vastaavissa kokeissa (HÅKANSSON 1979).

Neljästi tiivistetyssä koejäsenessä sato oli merkitsevästi pienempi kuin tiivistämättömässä Jokioisten eloperäisen maan ja Mouhijärven hiuesavimaan kokeissa ensimmäisenä koevuonna. Näilläkin kentillä maan kertatiivistys laski satoa huomattavasti lievemmin kuin neljästi tiivistäminen. Ensimmäisenä koevuonna sato oli kerran tiivistetyssä 1-9 % ja neljästi tiivistetyssä 8-23 % pienempi kuin tiivistämättömässä koejäsenessä.

Vuoden 1983 maksimipituuden mittaustulosten mukaan tiivistymä haittasi kasvua Jokioisten eloperäisellä maalla toisena jälkivaikutusvuonna merkitsevästi, mutta kasvien sadoissa ei ollut merkitseviä eroja. Ensimmäisen koevuoden jälkeen tiivistämättömän ja osittain myös kerran tiivistetyn koejäsenen aikainen lakoontuminen heikensi koetulosten luotettavuutta. Tämän kentän tulosten perusteella ei pystytä päättelemään tiivistymän jälkivaikutusaikaa kasvien satoon.

Mouhijärvellä tiivistäminen laski merkitsevästi ohran satoa vielä toisena koevuonna. Myös tällä kentällä lakoontuminen heikensi tulosten luotettavuutta varsinkin kauran osalta vuosina 1983 ja 1984. Myöskään vuoden 1986 osalta tulokset eivät ole koejäsenittäin vertailukelpoiset, koska kenttä orastui kuorettuman vuoksi epätasaisesti. Tiivistymä oli mitattavissa kyntökerroksen alapuolella kuudentena koevuonna (ALAKUKKU 1989). Se ei vaikuttanut kuitenkaan merkitsevästi viljojen satoon, vaikka ne olivat hieman alhaisemmat voimakkaasti tiivistetyssä koejäsenessä kuin tiivistämättömässä.

Kolmena ensimmäisenä jälkivaikutusvuonna sadon laskuun tiivistetyissä koejäsenissä vaikutti ilmeisesti huomattavasti muokkauskerroksen tiivistyneisyys. Tiivistetyn Jokioisten savimaan rakenne oli mittaustulosten mukaan tuolloin huonompi kuin tiivistämättömän (ALAKUKKU 1989). Myös muissa vastaavanlaisissa kokeissa sato laski eniten ensimmäisinä jälkivaikutusvuosina (HÅKANSSON 1985, RILEY 1986), ja voimakkaan tiivistymän häviäminen kyntökerroksesta vaati useita vuosia savimailla (HÅKANSSON ja DANFORS 1981).

Jokioisten savimaan kentällä koejäsenten väliset satoerot olivat pieniä neljäntenä ja viidentenä seurantavuonna, vaikka kyntökerroksen alapuolella oli tiivistymä (ALAKUKKU 1989). Myös HÅKANSSONin (1985) ja HÅKANSSONin ym:n (1987) mukaan syvälle ulottuvan tiivistymän satovaikutus lieveni jälkivaikutusvuosien kuluessa.

Kuudentena jälkivaikutusvuonna kauran ja kevätvehnän sato laski neljästi tiivistetyissä koejäsenissä jälleen merkittävästi Jokioisten savimaalla. Kyntökerroksen alapuolisen tiivistymän haitallisuuteen kasvien sadontuoton kannalta kasvukauden sää vaikuttaa ilmeisen oleellisesti. Vuosina 1985 ja 1986 alkukesä oli keskimääräistä kuivempi Jokioisissa, mutta kasvukausi 1987 oli sateinen ja viileä. Sateet pitivät maan märkänä, mikä näiden tulosten mukaan korosti tiivistymän haitallisuutta sadon kannalta. Myös LOWERY ja SCHULER (1988) totesivat sateisen kesän tehostaneen syvällä olleen tiivistymän haitallista kasvustovaikutusta.

Kaikilla kentillä maan tiivistymisen aiheuttama sadon lasku oli ensimmäisenä koevuonna samaa suuruusluokkaa. Muissa vastaavissa kokeissa savespitoisuuden lisääntyessä tiivistämisen negatiivinen vaikutus voimistui (HÅKANSSON 1985, HÅKANSSON ym. 1987). Tiivistysvaikutuksen kestosta satoon eri maalojeilla ei näiden tulosten perusteella voida tehdä johtopäätöksiä. Muualla tehdyissä kokeissa satoerot tasoittuivat karkeissa kivennäismaissa savimaita nopeammin (HÅKANSSON ym. 1987).

Lievimmin Jokioisten savimaan tiivistyminen laski näiden tulosten mukaan ohran satoa, joka laski suhteellisesti vähiten jo ensimmäisenä seurantavuonna. Kerta tiivistys laski ohrasatoa prosenttia ja neljästi tiivistäminen 4 %. Myös ohran pituuskasvu kärsi mittausten mukaan vähiten maan tiivistyneisyydestä. Viljoista tiivistyminen vaikutti näissä tuloksissa eniten kevätvehnän suhteelliseen satoon, jota kertatiivistys laski 4-6 % ja nelinkertainen tiivistys 14-17 %. Kauran suhteellista satoa se laski hieman vähemmän kuin vehnän. Vuonna 1982 viljellyn rypsin satoa raju tiivistys laski 18 %. Myös nurmen satoa maan tiivistyminen näytti verottaneen huomattavasti. Tiivistymisen vaikutus nurmisatoon ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä ja se lieveni nurmen vanhetessa.

Eloperäisen maan tiivistyminen laski rypsin satoa suhteellisesti enemmän kuin ohran vuonna 1982. Neljästi tiivistetyssä koejäsenessä ohran sato oli 8 ja rypsin 15 % pienempi kuin tiivistämättömässä. Samana vuonna Mouhijärvellä kauran sato laski suhteellisesti vähemmän kuin ohran, jolla kesäkuun ankara kuivuus ilmeisesti tehosti tiivistysvaikutusta. Neljästi tiivistetyssä maassa ohrasato oli 23 ja kaurasato 14 % pienempi kuin tiivistämättömässä.

Eniten maan tiivistäminen laski ensimmäisen koevuoden tulosten mukaan rypsin satoa. Kaksisirkkaiset olivat myös ERIKSSONin ym:n (1974) sekä WHITELEYn ja DEXTERin (1982) mukaan arempia maan tiivistymiselle kuin yksisirkkaiset. NJØS (1976) taas totesi viljan kärsineen maan tiivistymisestä rap- sia enemmän. ERIKSSONin ym:n (1974) mukaan viljojen välillä ei ollut mainittavaa eroa tiivistymisen vaikutuksessa satoon.

Jokioisten savimaalla oli yhtenä koejäsenenä viljelykierto, jossa haluttiin selvittää nurmiviljelyn vaikutusta tiivistyneen maan kasvukuntoon. Osa kentästä oli apila-timotei nurmena vuosina 1984-1986. Nurmen jälkeen viljellyn kevätvehnän sadoissa ei ollut käsittelyjen välillä suuria eroja, vaikka viereisen kaistan monokulttuurina viljellyn kevätvehnän sadoissa oli käsittelyjen välillä merkitsevät erot. Nurmella

olleen tiivistetyn maan vedenläpäisykyky oli myös mittaustulosten mukaan parempi kuin monokulttuuriviljelyssä olleen maan (ALAKUKKU 1989).

4.2. Sadon laatu

Puintikosteustulosten mukaan kasvusto pakkotuleentui tiivistetyissä koejäsenissä. Jokioisten savimaalla ja ensimmäisenä koevuonna myös eloperäisellä maalla sadon puintikosteus oli samana päivänä puiduissa tiivistetyissä koejäsenissä alhaisempi kuin tiivistämättömässä. Lasku oli neljästi tiivistetyssä koejäsenessä enimmillään useita prosenttiyksiköjä. Kerran tiivistetyn koejäsenen puintikosteus oli suurempi kuin neljästi tiivistetyn. Merkitsevä tiivistyksen vaikutus oli tavallisesti samoilla kasveilla ja samoina vuosina kuin sadon laskukin.

Myös FERGEDAL (1971) totesi maan tiivistymisen laskeneen viljojen puintikosteutta. GAULTNEY ym. (1982) sekä GAMEDA ym. (1987a) saivat päinvastaisen tuloksen: maan tiivistyminen nosti maissin puintikosteutta, koska se pidensi maissin kasvuaikaa. Rajun tiivistämisen vaikutus puintikosteuteen kesti useita vuosia myös GAMEDAn ym:n (1987b) tutkimuksissa.

Viljojen tuhannensiemenen- ja hehtolitrainpainoon maan tiivistyminen ei vaikuttanut tässä kokeessa merkittävästi. Tuhannensiemenenpainoissa käsittelyjen välinen ero oli yleensä alle yhden gramman. Tiivistyminen ei vaikuttanut muuallakaan tehdyissä tutkimuksissa mainittavasti viljojen tuhannensiemenpainoon, vaikka lievää siemenen painon nousua todettiin (NJØS 1978, POLLARD ja ELLIOT 1978, SAARELA ym. 1988). Tässä kokeessa hehtolitrainpainojen ero oli käsittelyjen välillä yleensä alle yhden kilon. Myös FERGEDAL (1971), MARTI (1983) sekä SAARELA ym. (1988) totesivat tiivistymisen nostaneen viljojen hehtolitrainpainoa lievästi aivan kuten tässäkin kokeessa.

Kasvien sadon lasku johtui ilmeisesti muista satokomponenteista kuin siemenen painosta, koska tiivistyskäsittelyjen välillä ei ollut suuriakaan eroja tuhannensiemenenpainossa.

Maan tiivistyminen vähensi siis joko versojen tai tähkän jyvän määrää tai molempia. POLLARD ja ELLIOT (1978) esimerkiksi totesivat tiivistämisen heikentäneen ohran versomista.

Maan tiivistyminen laski sadon raakavalkuaispitoisuutta useana vuonna jopa merkitsevästi savimaalla ja huomattavasti myös eloperäisellä maalla ensimmäisenä koevuonna. Lasku oli yleensä alle yhden prosenttiyksikön, mikä oli samaa suuruusluokkaa kuin SAARELAN ym:n (1988) kokeessakin. Kerran tiivistetyssä koejäsenessä raakavalkuaispitoisuus oli suurempi kuin neljästi tiivistetyssä. Merkitsevimmän neljästi tiivistyminen laski näiden tulosten mukaan Jokioisten savimaalla kauran ja kevätvehnän valkuaispitoisuutta. Valkuaissatoon tiivistäminen vaikutti savimaan tuloksissa sekä sadon määrän että raakavalkuaipitoisuuden laskun kautta. Muualla maan tiivistymisen vaikutus sadon typpipitoisuuteen vaihteli laskusta nousuun (BERTRAND ja KOHNKE 1957, SCHUURMAN 1965, GAHEEN ja NJØS 1978).

Lannoitus oli kaikilla koejäsenillä sama, joten tiivistäminen nähtävästi rajoitti kasvien typensaantia ja/tai aiheutti typen denitrifioitumista märissä oloissa. Tiivistämättömät kasvustot lakoontuivat varsinkin eloperäisellä maalla ja Mouhijärven hiuesavella herkemmin kuin tiivistetyt, mikä ilmeisesti johtui siitä, että tiivistymä rajoitti muiden kasvutekijöiden lisäksi kasvuston typen saantia.

Jokioisten tiivistetyssä savimaassa sadon raakavalkuaispitoisuus oli pienempi kuin tiivistämättömässä myös viimeisenä koevuonna. Kuten jo ennen on todettu, ko. vuosi oli sateinen ja viileä. Näiden tulosten mukaan myös syvällä sijainnut tiivistymä häytti kasvien typenottoa tai edesauttoi denitrifikaatiota, kun maa pysyi kosteana. Myös BARRACHLOUGH ja WEIR (1988) totesivat syvän tiivistymän haitanneen kasvien typenottoa.

Kasvien satoon vaikuttaneita tekijöitä on tarkasteltu seuraavassa Jokioisten savimaan kentän osalta. Vuosina 1982 ja 1983 oli kesällä pitkiä poutajaksoja, jolloin maa oli kuivaa ja kovaa. Tuolloin maan mekaaninen kasvuvastus häytti ilmei-

sesti juurten kasvua tiivistetyssä maassa niin, että niiden veden ja ravinteiden saanti heikkeni. Savimaan tiivistäminen vähensi mittaustulosten mukaan maan suurten huokosten tilavuutta (ALAKUKKU 1989). Näiden vähetessä juurilla on aikaisempaa vähemmän kasvuväyliä, sillä ne eivät pysty tunkeutumaan halkaisijaansa pienempiin huokosiin (WIERSUM 1957). EAVISin (1972) mukaan maan mekaaninen kasvuvastus haittasi juurten kasvua enemmän kuin hapen puute maan kuivuessa. Heikentynyt juurten kasvu laskee myös muissa kokeissa viljelykasvien satoa huomattavastikin (SCHUURMAN 1965, DURRANT 1972, GAHEEN ja NJØS 1978).

Sateisina vuosina 1984 ja 1987 sadon laskuun vaikutti ilmeisesti juuriston heikentynyt toiminta ilmanvaihdon hidastuessa ja mahdollisesti myös typen denitrifikaatio. Suurten huokosten tilavuus vaikuttaa merkittävästi märän maan vedenläpäisykykyyn (RASMUSSEN 1976, ERIKSSON 1976), joka oli kenttämittauksissakin tiivistetyssä maassa heikompi kuin tiivistämättömässä (ALAKUKKU 1989). Hitaasti kuivuvassa maassa kaasujenvaihto on usein tehotonta (CURRIE 1984), jolloin kasvien juuret voivat kärsiä hapenpuutteesta ja/tai niille haitallisten kaasujen (etyleeni, hiilidioksidi, rikkivety) konsentraation noususta. Lisäksi hapen puutteen seurauksena typpeä voi denitrifioitua (PONNAMPERUMA 1974), mikä osaltaan voi olla syynä sadon laskuun.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Raskas 16 tonnin teliakselikuormitus vuonna 1981 aiheutti pitkäaikaisen jälkivaikutuksen Jokioisten hiuesavi/aitosavi-maalla. Kolmena ensimmäisenä vuonna sadot laskivat usein yli 10 %. Sadon lasku johtui ilmeisesti pääasiassa multakerroksen tiivistyneisyydestä. Kuudentena jälkivaikutusvuonna 1987, joka oli poikkeuksellisen sateinen, sadot olivat jälleen tiivistämisen johdosta merkitsevästi pienempiä. Tuolloin sadon laskuun oli syynä muokkauskerroksen alapuolella säilynyt tiivistymä, jonka haitallisuutta maan liiallinen märkyys korosti.

Maan tiivistäminen kertaalleen vaikutti sadon määrään ja laatuun huomattavasti vähemmän kuin neljä tiivistyskertaa.

Maan tiivistyminen pakkotuleennutti kasvustoja. Sääoloista riippuen tiiviys haittasi ilmeisesti juurten veden-, ravin- teidentai hapenottoa. Siementen painoon tai hehtoliträn painoon maan tiiviys ei vaikuttanut kovin selvästi. Sen sijaan maan tiivistämisellä oli usein viljojen raakavalkuaispi- toisuutta alentava vaikutus. Lasku oli yleensä alle yhden prosenttiyksikön.

Näiden tulosten mukaan nurmen viljely paransi tiivistetyn savimaan kasvukuntoa, sillä kolmivuotisen nurmen jälkeen v. 1987 kevätvehnän satoerot tiivistämiskäsittelyjen välillä olivat selvästi pienemmät kuin vehnän monokulttuurivilje- lyssä.

Jokioisten savetulla turvemaalla ja Mouhijärven hiesusavi- maalla voimakas tiivistäminen laski kasvien satoa ensimmäi- senä koevuonna huomattavasti. Ensimmäisen vuoden jälkeen kasvuston lakoontuminen heikensi tulosten luotettavuutta Jo- kioisten eloperäisellä maalla, eikä maan tiivistämisen jälki- vaikutusta kasvien sadossa voida päätellä. Mouhijärven ken- tällä muutamina vuosina lakoontuminen ja yhtenä vuonna kentän kuorettuminen heikensivät tulosten luotettavuutta. Näiden tu- losten mukaan hiesusavimaan tiivistyminen syvälle ei vaikut- tanut merkittävästi kauran tai ohran satoon kuudentena jälki- vaikutusvuonna.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- ALAKUKKU, L. 1989. Raskaan akselikuormituksen aiheuttama maan tiivistyminen. MTTK:n Tiedote 13/89: 1-41.
- ANON. 1980. Working group on soil compaction by vehicles with high axle load. Sver. Lantbr.univ., Rapp. Jordbearbetningsavd. 60: 1 - 56.
- 1982. Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Huhti-syyskuu. Ilmatieteen laitos. 72 s.
- 1983a. Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Huhti-syyskuu. Ilmatieteen laitos. 72 s.
- 1984. Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Huhti-syyskuu. Ilmatieteen laitos. 72 s.
- 1985. Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Huhti-syyskuu. Ilmatieteen laitos. 72 s.
- 1986. Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Huhti-syyskuu. Ilmatieteen laitos. 72 s.
- 1987. Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Huhti-syyskuu. Ilmatieteen laitos. 72 s.
- 1983b. SPSSX. Userguide. New York. 806 s.
- AURA, E. 1983. Soil compaction by the tractor in spring and its effect on soil porosity. J. Sci. Agric. Soc. Finl. 55: 91 - 107.
- BARRACHLOUGH, P. B. & WEIR, A. H. 1988. Effects of a compacted subsoil layer on root and shoot growth, water use and nutrient uptake of winter wheat. J. Agric. Sci., Camb. 110: 207 - 216.
- BERTRAND, A. R. & KOHNKE, H. 1957. Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and the growth of corn roots. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 21: 135 - 140.
- BLAKE, G. R., NELSON, W. W. & ALLAMARAS, R. R. 1976. Persistence of subsoil compaction in a mollisol. J. Soil Sci. Soc. Amer. 40: 943 - 948.
- BOLLING, I. 1986. Beanspruchung des Bodens beim Schlepper- und Maschineneinsatz. KTBL-Schrift 308: 49 - 71.
- CURRIE, J. A. 1984. Gas diffusion through soil crumbs: The effects of compaction and wetting. J. Soil Sci. 35: 1 - 10.

- DUMBECK, G. 1984. Einfluss aussergewöhnlicher Druckbelastung auf das Bodengefüge und die Durchwurzelung. Mitt. Deut. Bodenkundl. Ges. 40: 61 - 62.
- DURRANT, M. J. 1972. Root studies. Roth Exp. Sta. Rep. 1971, Part 1: 289 - 290.
- EAVIS, B. W. 1972. Soil physical conditions affecting seedlings root growth. Pl. and Soil 36: 613 - 622.
- ERIKSSON, J. 1976. Influence of extremely heavy traffic on clay soil. Grundförbättring 27: 33 - 51.
- 1982. Markpackning och rotmiljö. Sver. Lantbr.univ. Hydroteknik Rapp. 126: 1 - 138.
- , HÅKANSSON, I. & DANFORS, B. 1974. Jordpacking - markstruktur - gröda. Jordbr.tekn. Inst. Medd. 354: 1 - 82.
- FERGEDAL, L. 1971. Jordpackning med traktor vid olika tider för vårsådd. Sver. Lantbr.högsk., Rapp. Jordbearbetningsavd. 26: 1 - 140.
- GAHEEN, S. & NJØS, A. 1978a. Effect of tractor on timothy (*Phleum pratense* L.) root system in an experiment on loam soil. Meld. Norges Landbr.högsk. 57(1): 1 - 8.
- GAMEDA, S., RAGHAVAN, G. S. V., MCKYES, E. & THERIAULT, R. 1987a. Subsoil compaction in a clay soil. I. Cumulative effects. Soil & Tillage Res. 10: 113 - 122.
- , RAGHAVAN, G. S. V., MCKYES, E. & THERIAULT, R. 1987b. Subsoil compaction in a clay soil. II. Natural Alleviation. Soil & Tillage Res. 10: 123 - 130.
- GAULTNEY, L., KRUTZ, G. W., STEINHARDT, G. C. & LILJEDAHL, J. B. 1982. Effects of subsoil compaction on corn yields. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng. 25: 563 - 569, 575.
- HÅKANSSON, I. 1979. Försök med jordpackning vid hög axelbelastning. Markundersökningar 1-2 år efter försökens åläggande. Sver. Lantbr.univ. Rapp. Jordbearbetningsavd. 57: 1 - 15.
- 1985. Swedish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. Soil Use Management 1: 113 - 116.
- & DANFORS, B. 1981. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. Intern. Soc. Terrain-

- vehicle Systems, 7th Intern. Conf., August 16-20, Calgary, Alberta, Canada. Proc. 1: 239 - 253.
- , VOORHEES, W. B., ELONEN, P., RAGHAVAN, G. S. V., lowery, B., VAN WIJK, A. L. M., RASMUSSEN, K. & RILEY, H. 1987. Effect of high axle-load traffic on subsoil compaction and crop yield in humid regions with annual freezing. Soil & Tillage Res. 10: 259 - 268.
- MARTI, M. 1983. Effects of soil compaction and lime on yield and soil parameters on three silty clay loam soils in South Eastern Norway. Meld. Norges Landbr.högsk. 62(24): 1 - 28.
- NJØS, A. 1976. Long term effects of tractor traffic in two field experiments in Norway. Proc. 7th Conf. Intern. Soil Tillage Res. Org., Uppsala. Sver. Lantbr.univ., Rapp. Jordbearbetningsavd. 45(27): 1 - 7.
- 1978. Effects of tractor traffic and liming on yields and soil physical properties of a silty clay loam soil. Meld. Norges Lanbr.högsk. 57(24): 1 - 26.
- POLLARD, F. & ELLIOTT, J. G. 1978. The effect of soil compaction and method of fertilizer placement on the growth of barley using a concrete track technique. J. Agric. Eng. Res. 23: 203 - 216.
- PONNAMPERUMA, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24: 29 - 96.
- PRIHAR, S. S., PIARA, S. & GAJRI, P. R. 1975. Effect of simulated plowsole water uptake and yield of dry-land-wheat. Agron. J. 67: 369 - 373.
- RASMUSSEN, K. J. 1976. Jordpakning ved færdsel om foråret. II. Jordfysiske målinger. Tidsskr. Planteavl. 80: 835 - 856.
- RILEY, H. 1986. Tunge maskiner of sterke traktorer reduserer avlingene. Norsk.Landbr. 105(4): 28 - 29, 41.
- SAARELA, I., KÖYLIJÄRVI, J., SIMOJOKI, P. & VIRRI, K. 1988. Toukotöiden aiheuttaman maan tiivistymisen vaikutus viljasadon määrään ja laatuun. Koetoim. ja Käyt. 45: 11.
- SCHMIDT, W. & ROHDE. S. 1986. Untersuchungen zur Wirkung von Raddruck auf die Lagerungsdichte von Niedermoorboden. Arch. Acker-Pfl.bau Bodenkunde 30: 37 - 44.

- SCHUURMAN, J. J. 1965. Influence of soil density on root development and growth of oats. *Pl. and Soil* 22: 353 - 374.
- SÖHNE, W. 1952. Die Kraftübertragung zwischen Schlepperreifen und Ackerboden. *Grundlagen der Landtechnik* 3: 75 - 87.
- TAYLOR, J. H., BURT, E. C. & BAILEY, A. C. 1980. Effect of total load on subsurface soil compaction. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 23: 568 - 570.
- VAN OUWERKERK, C. 1968. Two model experiments on the durability of subsoil compaction. *Neth. J. Agric. Sci.*, 16: 204 - 210.
- WHIETELEY, G. M. & DEXTER, A. R. 1982. Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and non-tilled soil. *Soil & Tillage Res.* 2: 379 - 393.
- WIERSUM, L. K. 1957. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. *Pl. and Soil* 9: 75 - 885.

LIITTEET

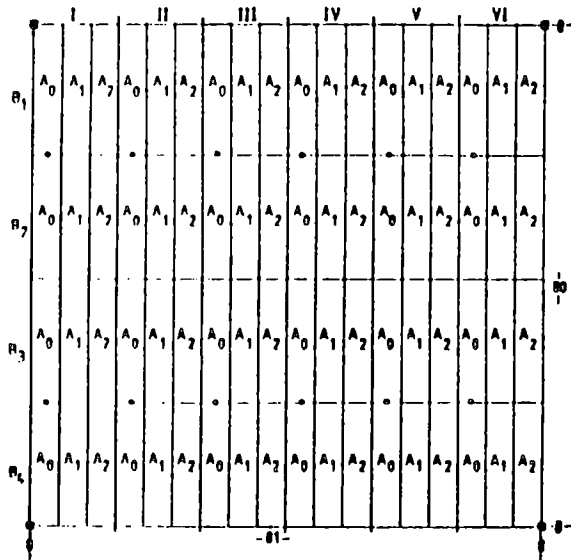
LIITE 1. Kenttäkoekartat, joiden mukaan kokeet perustettiin vuonna 1981.

LIITE 2. Kenttäkokeissa viljeltyjen kasvien lajikkeet, lannoitus sekä kylvö- ja puintipäivät.

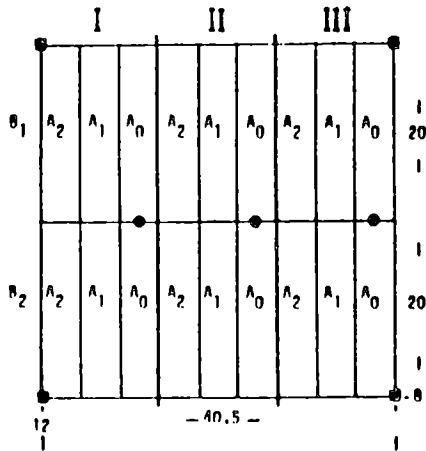
LIITE 3. Kenttäkokeiden satotulokset (kg/ha) koevuosittain ja koepaikoittain.

LIITE 1. Kenttäkoekartat, joiden mukaan kokeet perustettiin vuonna 1981.

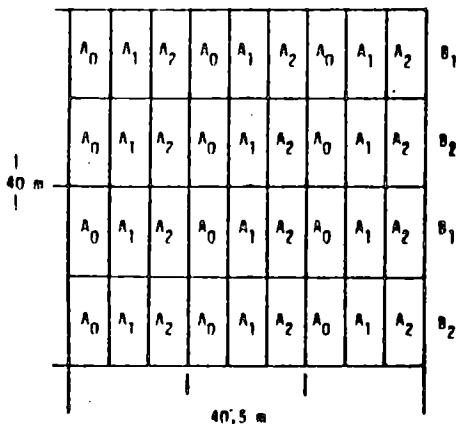
Ojainen



Kuuma



Mouhijärvi



Maan tiivistäminen

- A₀ = tiivistämätön
- A₁ = tiivistäminen kerran
- A₂ = tiivistäminen neljä kertaa

teliakselipaino 16 tn

Koekasvit (Ojainen)

- B₁ = ohran monokulttuuri
- B₂ = kauran monokulttuuri
- B₃ = kevätvehnän monokulttuuri
- B₄ = viljelykierto

Koekasvit (Kuuma)

1982-1985

- B₁ = ohra
- B₂ = rypsi

Kasvit vuorottelevat B₁ ja B₂ paikoilla vuosittain

1986-1987

Koko kenttä: ohra

Koekasvit (Mouhijärvi)

1982

- B₁ = kaura
- B₂ = ohra

Kasvit vuorottelevat B₁ ja B₂ paikoilla vuosittain

Kenttäkoekartat laatinut P. Elonen

Liite 2. Kenttäkokeissa viljeltyjen kasvien lajikkeet, lannoitus sekä kylvö- ja puintipäivät.

Savimaan koe, Jokioinen			Lannoitus		
Vuosi	Kasvi	Lajike	Kylvöpäivä	N, kg/ha	Puintipäivä
1982	Ohra	Pomo	17.5	103	30.8
	Kaura	Puhti	19.5	103	6.9
	Vehnä	Luja	19.5	103	6.9
	Rypsi	Ante	19.5	103	10.9
1983	Ohra	Pomo	9.5	102	16.8
	Kaura	Puhti	9.5	102	25.8
	Vehnä	Luja	9.5	102	30.8
	Ohra (Sv)	Pomo (+hs)	9.5	80	11.8
1984	Ohra	Pomo	14.5	101	20.8
	Kaura	Puhti	14.5	101	3.9
	Vehnä	Luja	14.5	101	6.9
	Nurmi	-	-	10	19.6 ja 20.8
1985	Ohra	Pomo	17.5	80	23.8
	Kaura	Puhti	17.5	80	3.9
	Vehnä	Luja	17.5	80	3.9
	Nurmi	-	-	10	26.6 ja 28.8
1986	Ohra	Pomo	14.5	90	20.8
	Kaura	Puhti	14.5	90	4.9
	Vehnä	Luja	14.5	90	23.8
	Nurmi	-	-	10	13.6 ja 19.8
1987	Ohra	Pomo	22.5	90	10.9
	Kaura	Velli	22.5	90	6.10
	Vehnä	Luja	22.5	90	6.10
	Vehnä	Luja	22.5	90	6.10
Eloperäisen maan koe, Jokioinen					
Vuosi					
1982	Ohra	Pomo	26.5	81	16.9
	Rypsi	Ante	26.5	81	16.9
1983	Ohra	Pomo	18.5	64	23.8
	Rypsi	Emma	19.5	64	23.9
1984	Ohra	Pomo	24.5	60	27.8
	Rypsi	Emma	24.5	60	18.10
1985	Ohra	Pomo	29.5	60	18.9
	Rypsi	Emma	30.5	60	23.9
1986	Ohra	Etu	30.5	60	19.9
1987	Ohra	Etu	1.6	60	30.9
Savimaan koe, Mouhijärvi					
Vuosi					
1982	Ohra	Etu	28.5	80	6.9
	Kaura	Puhti	28.5	80	6.9
1983	Ohra	Etu	23.5	64	9.9
	Kaura	Puhti	23.5	64	9.9
1984	Ohra	Etu	23.5	72	3.9
	Kaura	Puhti	23.5	72	21.9
1985	Ohra	Etu	5.6	80	13.9
	Kaura	Velli	5.6	80	23.9
1986	Ohra	Arra	21.5	80	24.9
	Kaura	Velli	21.5	80	24.9
1987	Ohra	Arra	-	80	-
	Kaura	Velli	-	80	-

Liite 3. Kenttäkokeiden satotulokset (kg/ha) koivuositain ja koepaikoittain.

JOKIOISTEN SAVIMAA

Tiivistys	Ohra					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A ₀	6460	5100	3120	4130	3570	3790
A ₁	6430	4950	3080	4120	3660	3730
A ₂	6200	4690	3360	4070	3610	3870
	Kaura					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A ₀	5820	5650	5600	4710	4220	4950
A ₁	5850	5450	5670	4560	4170	4750
A ₂	5190	5000	5530	4560	4060	4350
	Kevätvehnä					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A ₀	5380	4570	3620	3880	2440	3860
A ₁	5160	4310	3470	3980	2540	3660
A ₂	4470	3870	3120	3940	2360	3280
	Rypsi	Ohra	Nurmi	Nurmi	Nurmi	Vehnä
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A ₀	2510	5780	4480	5550	6280	4350
A ₁	2400	5560	4110	5050	6160	4310
A ₂	2060	5350	3610	5130	5930	4240

JOKIOISTEN ELOPERÄINEN MAA

Tiivistys	Ohra					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A ₀	5420	4640	2110	3030	4730	1140
A ₁	5340	4990	2120	2910	4500	1180
A ₂	4980	5010	2350	3050	4600	1320
	Rypsi					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A ₀	2670	2220	1330	1690		
A ₁	2520	2250	1370	1930		
A ₂	2260	2120	1340	1790		

MOUHIJÄRVI

Tiivistys	Ohra					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A ₀	2980	5110	2900	2920	1570	2600
A ₁	2710	4740	2740	2920	1790	2620
A ₂	2290	4750	2880	2840	1700	2550
	Kaura					
	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A ₀	2860	4430	3400	2770	1880	3540
A ₁	2650	4970	3590	2730	2100	3540
A ₂	2450	4670	3460	2650	1980	3320

