

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
TIEDOTE

17/94

LAURA ALAKUKKU ja PAAVO ELONEN

**Syksyn kuljetusajon aiheuttama savimaan
tiivistyminen**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
TIEDOTE 17/94

LAURA ALAKUKKU ja PAAVO ELONEN

Syksyn kuljetusajon aiheuttama savimaan tiivistyminen

Summary: Compaction of a heavy clay soil by transport traffic in autumn

Maatalouden tutkimuskeskus
Kasvintuotannon tutkimuslaitos
Maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusala
31600 JOKIOINEN
Puh. (916) 1881

Jokioinen 1994
ISSN 0359-7652

SISÄLLYS

ESIPUHE	4
TIIVISTELMÄ	5
SUMMARY	6
1 JOHDANTO	7
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	7
2.1 Koekenttä	7
2.2 Koejärjestelyt ja -kenttien perustus	7
2.3 Kenttäkokeiden viljely ja hoito	10
2.4 Näytteenotto ja mittaukset	10
2.4.1 Maan mekaaninen vastus	10
2.4.2 Maan huokoisuus ja huokosjakauma	11
2.4.3 Maan tilavuuspaino	12
2.4.4 Siemensadon määrä ja laatu	12
2.5 Aineisto ja sen tilastollinen käsittely	12
3 TULOKSET	13
3.1 Tiivistämisen vaikutus maahan	13
3.1.1 Mekaaninen vastus	13
3.1.2 Huokoisuus ja huokosjakauma vuonna 1988	20
3.1.3 Tilavuuspaino neljän tiivistyssyksen jälkeen	20
3.2 Tiivistämisen vaikutus ohrasadon määrään ja laatuun	22
4 TULOSTEN TARKASTELU	26
KIRJALLISUUS	29
LIITTEET 1-13	

ESIPUHE

Tutkimus tehtiin vuosina 1985–1990 Maatalouden tutkimuskeskuksessa maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusalalla Jokioisissa. Paavo Elonen suunnitteli kenttäkokeet ja vastasi tutkimuksen johdosta. Laura Alakukku vastasi maasta tehdyistä mittauksista, käsitteli aineiston ja kirjoitti julkaisun.

Tutkimusalan tutkimusmestarit hoitivat kenttäkokeet Risto Tannin johdolla. Marjatta Ahola työryhmineen huolehti sadon käsittelystä. Risto Seppälä teki mitaukset ja määritykset maasta. MTT:n keskuslaboratorio teki sadon typpimääritykset. Elise Ketoja auttoi satoaineiston tilastollisessa käsittelyssä. Esitämme kaikille tutkimukseen osallistuneille parhaat kiitoksemme hyvin sujuneesta yhteistyöstä.

Jokioisissa 20.6.1994

Laura Alakukku

Paavo Elonen

**ALAKUKKU L. ja ELONEN, P. Syksyn kuljetusajon aiheuttama savi-
maan tiivistyminen. (Summary: *Compaction of a heavy clay soil by
transport traffic in autumn.*) Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote
17/94. 30 p. + 13 liitettä.**

Avainsanat: maan tiivistyminen, akselipaino, peltoliikenne

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten syksyisin toistuva kuljetusajo vaikuttaa kosteaan savimaahan ja ohrasatoon. Tutkimukseen kuului kaksi savimaalle perustettua kenttäkoetta. Sänkipellolla ajettiin neljänä peräkkäisenä syksynä traktori-perävaunu-yhdistelmällä, jossa perävaunun akselipaino oli 5 000 kg. Vuosittainen ajomäärä oli 0, 100 tai 300 tnkm/ha. Perävaunussa oli vakio- tai matalaprofiilirenkaat. Lisäksi tutkittiin, lievensikö alkukesän sadetus tiivistämisen satovaikutusta. Tutkimus tehtiin vuosina 1985–1990 yhteistyössä Ruotsin maatalousyliopiston kanssa.

Yhdistelmä tiivisti kostea savimaata 0,35 metrin syvyyteen. Ajomäärän lisääminen voimisti tiivistymää. Matalaprofiilirenkaiden käyttö perävaunussa ei lieventänyt tiivistymistä merkittävästi. Myös perävaunua vetänyt traktori tiivisti maata, mikä todennäköisesti tasoitti perävaunun renkaiden välistä eroa. Lisäksi matalaprofiilirenkaiden vaikutus olisi voinut olla suurempi, jos niiden pintapaine olisi ollut pienempi kuin käytetty 87 kPa.

Tiivistymä hävisi kyntökerroksesta kahdessa vuodessa, mutta jankosta se ei hävinnyt koejakson aikana. Jankon tiivistymä voikin vaikuttaa pellon viljeltävyyteen kauan, sillä aiemman tutkimuksen mukaan se säilyi savimaassa ainakin yhdeksän vuotta. Kuormituksen toiston vaikutusta maahan oli vaikea päätellä, koska tiivistymistä ei mitattu jokaisen kuormituksen yhteydessä. Kaksi viimeistä käsittelyä eivät voimistaneet kyntökerroksen tiivistymää. Tulokset viittasivat kuitenkin siihen, että ne olivat jankossa kasvattaneet koejäsenten välisiä suhteellisia eroja. Tämä saattoi johtua siitä, että kuormituksen uusiminen tiivisti maata lisää.

Satotappiot eivät kasvaneet vuosittain. Koejakson keskiarvona 100 tnkm:n kuormitus pienensi satoa 4 % ja 300 tnkm:n tiivistys 6 %. Typpisatoa samat ajomäärät laskivat 5 ja 7 %. Alkukesän sadetus ei lieventänyt tiivistämisen vaikutusta satoon.

Kriittisiä työvaiheita, joissa 5 000 kg:n akselipaino voi ylittyä kostealla pellolla ajettaessa, ovat lietelannanlevitys, sadonkorjuu ja maanmuokkaus. Tutkimuksen perusteella näihin tulee tulevaisuudessa kehittää vähemmän maata kuormittavia menetelmiä, jos halutaan välttää pitkäaikaiset tiivistymishaitat. Lähitulevaisuudessa tiivistäminen on pidettävä kurissa nykyisillä koneilla työskenneltäessä, sillä tämän hetkessä maatalouden tilanteessa investointeja tehdään vähän. Lisäksi tilojen nykyinen konekanta on melko hyvä.

SUMMARY

COMPACTION OF A HEAVY CLAY SOIL BY TRANSPORT TRAFFIC IN AUTUMN

The aim of this study was to determine the cumulative effects of transport traffic on a wet heavy clay soil and on barley yield. Two field experiments were carried out. After harvesting, the experimental traffic was applied with a tractor-trailer combination, where the trailer axle load on a single axle was 5 000 kg. The loadings used were 0, 100 and 300 tnkm/ha, and these were repeated in four successive autumns. The trailer was equipped with standard (inflation pressure 300 kPa) or low profile tyres (inflation pressure 150 kPa). The effect of early summer irrigation on yield losses was studied in addition.

The soil clay content ($< 2 \mu\text{m}$) was 48% in the topsoil and 59% in the subsoil. During the loadings, soil moisture content was near field capacity in the plough layer, and during the first loading also in the subsoil. The tractor-trailer combination compacted the soil to a depth of 0.35 m, and the loading of 300 tnkm compacted the soil more than the loading of 100 tnkm. Low profile tyres (lower inflation pressure) did not compact the soil less than standard tyres. Probably the tractor also compacted the soil, diluting the effect of the different trailer tyres. The low profile tyres might also had a more beneficial effect if the ground pressure of the tyres had been lower than the 87 kPa used.

Two years after the experimental traffic there was no difference between treatments in the mechanical resistance of the plough layer. During the same time, the compaction was not alleviated in the subsoil. Although the cumulative effect of the repeated field traffic was difficult to determine because soil properties were not measured after each loading, the results nevertheless indicated that the third and fourth loadings increased the difference in soil mechanical resistance in the subsoil between unloaded and loaded treatments.

Cumulative yield losses were not observed. As a mean of the four years of the experiment, the loading of 100 tnkm reduced the barley yield by 4% and the loading of 300 tnkm by 6%. The loadings reduced the nitrogen yield by 5 and 7%, respectively. Irrigation in early summer did not relieve the effects soil of compaction on barley yields.

Slurry spreading, harvesting and soil tillage are critical operations, during which soils are often wet and machine axle loads exceed 5 000 kg. On the basis of these results, it is clear that methods which load the soil less must be developed for these operations if subsoil compaction is to be avoided.

Keywords: soil compaction, axle load, field traffic

1 JOHDANTO

Maan rakenne vaikuttaa ratkaisevasti sen kasvutekijöihin ja teknisiin ominaisuuksiin. Toimiva maan rakenne on perusedellytys, kun pienennetään peltoviljelyn kustannuksia, ympäristöhaittoja ja satovaihteluita. Maan rakenneongelmiin alettiin kiinnittää entistä enemmän huomiota 1980-luvun vaikeina kasvukausina.

Peltoliikenteen aiheuttama tiivistyminen on eräs maan rakenneongelma. Tiivistymisriski vaihtelee kasvukauden aikana olosuhteiden ja kuormituksen voimakkuuden mukaan. Se on suuri, kun kostealla pellolla ajetaan paljon ja/tai painavilla kuormilla. Tällaisia töitä ovat usein lannanlevitys, muokkaus ja sadonkorjuu.

Suomalaisissa kokeissa kyntökerroksen tiivistäminen keväällä noin 3 000 kg:n akselipainolla laski viljasatoa merkittävästi (ELONEN 1980). Routa ja kyntö kuohkeuttivat kuitenkin tiivistymän lähes täysin seuraavaan kevääseen mennessä (AURA 1983). Satoa korjattaessa pellolla ajetaan usein raskaammilla koneilla kuin keväällä. Maa on myös monesti syyssateiden jäljiltä märkää, mikä lisää tiivistymisherkkyyttä merkittävästi (BERTILSSON 1971, VOORHEES ym. 1986, HORN ym. 1987).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten jokasyksyinen kuljetusajo vaikuttaa savimaahan ja ohrasatoon. Vastauksia haettiin seuraaviin kysymyksiin:

- kuinka syvälle 5 000 kg:n akselipaino tiivistää kostean savimaan?
- aiheuttaako vuosittainen kuormitus kumuloituvaa jälkivaikutusta?
- lieventävätkö matalaprofiilirenkaat (rengaspaineen lasku) perävaunussa ja alkukesän sadetus tiivistämisen vaikutusta?

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Koekenttä

Tutkimus tehtiin yhteistyössä Ruotsin maatalousyliopiston kanssa. Siihen kuului kaksi kenttäkoetta, jotka tehtiin Maatalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisissa. Kokeet olivat lohkolla, jonka maalaji oli kyntökerroksessa multava hiuesavi ja jankossa hiuesavi (Taulukko 1). Kerranteessa viisi (Liite 1) maa oli karkeampaa kuin muu kenttä: hietasavea. Maan rakenne oli luontaisesti hyvä. Kentän kaltevuus oli alle 1 %. Ojitus toimi melko hyvin, eikä kentällä havaittu mainittavia pintavesiongelmia koejakson aikana.

Maalaji määritettiin kentän eri osista otetun neljän osanäytteen keskiarvona. Kivennäisaineksen lajitekoostumus määritettiin ELOSEN (1971) pipettimenetelmällä ja orgaaninen hiili SIPPOLAN (1982) kuvaamalla kuivapoltolla (Leco CR-12 laitteella). Analyysit teki Maantutkimuksen tutkimusala. Kivennäismaat nimettiin JUUSELAN ja WÄREEN (1956) maalajikolmion mukaan. Muokkauskerroksen multavuusluokituksessa käytettiin orgaanisen hiilen kertoimena 1,7 humuspitoisuutta laskettaessa (ALLISON 1969).

2.2 Koejärjestelyt ja -kenttien perustus

Kenttäkokeet tehtiin vuosina 1985–1989. Maata tiivistettiin neljänä ensimmäisenä vuonna. Alunperin suunniteltiin kenttäkoe, jossa oli kaksi tiivistämiskosteutta. Sitä ei voitu kuitenkaan toteuttaa, koska kyntökerros oli joka syksy märkä (Taulukko 3). Tästä syystä alkuperäisestä kentästä muodostui kaksi erillistä koetta: A ja B. Liitteessä 1 on esitetty kenttäkoekartta, jonka mukaan kokeet tehtiin.

Taulukko 1. Koekentän maan orgaanisen hiilen pitoisuus (%) ja kivennäisaineksen lajitekoostumus (%).

Syvyys m	Orgaaninen hiili, %	Saves < 2	Hiesu 2–20	Hieta 20–200	Hiekka 200–2000 µm
0–0,2	2,8	47	28	18	7
0,2–0,4	1,1	59	23	14	4

Koe oli ensimmäisen asteen osaruutukoe, jossa osaruudut olivat kaistoina pääruudun läpi (strip-plot-koe, MILLIKEN ja JOHNSON 1984, s. 317). Koejäsenet olivat:

Pääruutu (A):	Osaruutu (BC):
sadettamaton (A ₀)	tiivistämätön (B ₀)
sadetus alkukesällä (A ₁)	tiivistys: 100 tnkm/ha (B ₁)
	300 tnkm/ha (B ₂)
	perävaunussa:
	vakiorenkaiden (C ₁)
	matalaprofiilirenkaiden (C ₂)

Maa tiivistettiin ennen syyskylvöä traktori-perävaunu-yhdistelmällä, jossa perävaunun akselipaino oli 5 000 kg. Kerranteita oli viisi. Tiivistyksen määränä käytetty tnkm/ha (Taulukko 2) laskettiin kaavalla:

$$\frac{\text{tnkm}}{\text{ha}} = \frac{\text{yhdistelmän paino (tn)} \times \text{ajettu matka (km)}}{\text{pinta-ala, jolle ajo jakaantui (ha)}} \quad (1)$$

Taulukossa 2 on esitetty tiivistäneen yhdistelmän teknisiä tietoja ja ajomäärä vuosittain. Tiivistys 100 tnkm/ha vastasi ajoa 8 000 kg:n yhdistelmällä niin, että matalaprofiilirenkaiden jäljet peittivät ruudun kauttaaltaan. Vakiorenkaiden ajolinjat olivat samat kuin matalaprofiilirenkaiden, joten ajojäljet eivät peittäneet koko ruutua.

Kenttä tiivistettiin suunnitelman mukaan syksyinä 1985, 1986 ja 1988. Syksyllä 1987 märkä pelto ei kantanut perävaunua, jossa oli vakiorenkaiden. Tuolloin kuormittamatta jääneet ruudut (C₂-käsitellyt) tiivistettiin keväällä 1988 kauttaaltaan ennen kyl-

vömuokkausta. Ajomäärä oli 53 tai 159 tnkm/ha (Taulukko 2).

Maa oli kyntökerroksessa kaikkina koesyksyinä kosteaa (Taulukko 3). Ensimmäisen syksyn jälkeen jankossa (0,2–0,3 m:ssä) oli kuivahko kerros, mikä saattoi madaltaa ja lieventää kuormituksen vaikutusta. Keväällä 1988 pintamaa oli kuivaa ja kantavaa, mutta pohjamaa oli kosteaa. Olosuhteet olivat yleensä otolliset tiivistymiselle. Esimerkiksi AKRAMin ja KEMPERin (1979) mukaan maa tiivistyi herkimmin sen kosteuden ollessa lähellä kenttäkapasiteettia. Kuormitusten yhteydessä ei mitattu maan tiiviyttä. Jos se olisi mitattu aina ennen kuormitusta ja sen jälkeen, kuormituksen toiston merkitys olisi saatu paremmin esille.

Kuormituksen yhteydessä ei mitattu pintapaineita tai maan ja renkaan välisiä kontaktialoja. Yhdistelmän kontaktialat mitattiin jälkikäteen syksyllä 1990. Renkaiden uppouma ja maan kosteus (Taulukko 3) olivat samaa luokkaa kuin koevuosinakin. Mittausten perusteella voitiin tarkastella kontaktialojen suuruusluokkaa kuormitusvuosina.

Kontaktiala mitattiin SMITHin ja DICKSONin (1990) selostamalla menetelmällä. Yhdistelmä pysäytettiin pellolla, minkä jälkeen renkaiden ja maan rajapintaan siroteltiin värijauhetta. Kun yhdistelmä oli peruutettu pois, jauheen ympäröimä ala piirrettiin muoville ja mitattiin. Rengaskuorma punnittiin tasaisella alustalla. Keskimääräinen pintapaine laskettiin rengaskuorman ja kontaktialan osamääränä. Lopulliset tulokset esitettiin neljän alan keskiarvona.

Taulukko 2. Tiivistäneen yhdistelmän teknisiä tietoja ja sen aiheuttama kuormitus koevuosittain.

Ajopäivä	Kokonaispaino, kg	Akselipaino, kg		tnkm/ha Yksi/kolme ajoa	Rengaspaine, kPa	
		Traktori etu/taka	Perävaunu		Traktori etu/taka	Perävaunu vakio/matalap.
Syksy						
23.10.1985	9500		5000	119/356	140/140	350/150
15.10.1986					140/140	350/150
08.10.1987	9800	1490/3260	5050	122/368	140/140	-/150
29.08.1988	8410	1350/2520	4540	105/315	140/140	300/100
Kevät						
11.05.1988	4230	700/3530		53/159	250/200	

Taulukko 3. Maan kosteus keskiarvon keskivirheinen tiivistettäessä, kontaktialoja mitattaessa ja -10 kPa:n potentiaalissa.

Syvyys, m	Maan kosteus, % kuivapainosta						
	Syksy				Kevät	Alat	-10 kPa
	1985	1986	1987	1988	1988	1990	1988
0-0,1	33 ± 1	34 ± 1	36 ± 1	32 ± 1	21 ± 3	36 ± 1	34 ± 2
0,1-0,2	34 ± 1	32 ± 1	34 ± 1	33 ± 1	28 ± 3	34 ± 2	32 ± 1
0,2-0,3	31 ± 1	28 ± 1	28 ± 1	27 ± 1	32 ± 2	27 ± 1	33 ± 1
0,3-0,4	28 ± 1	32 ± 1	31 ± 1	31 ± 1	33 ± 1	27 ± 1	31 ± 1

Taulukko 4. Tiivistävän yhdistelmän renkaiden kontaktiala sekä keskimääräinen pintapaine syksyllä 1990.

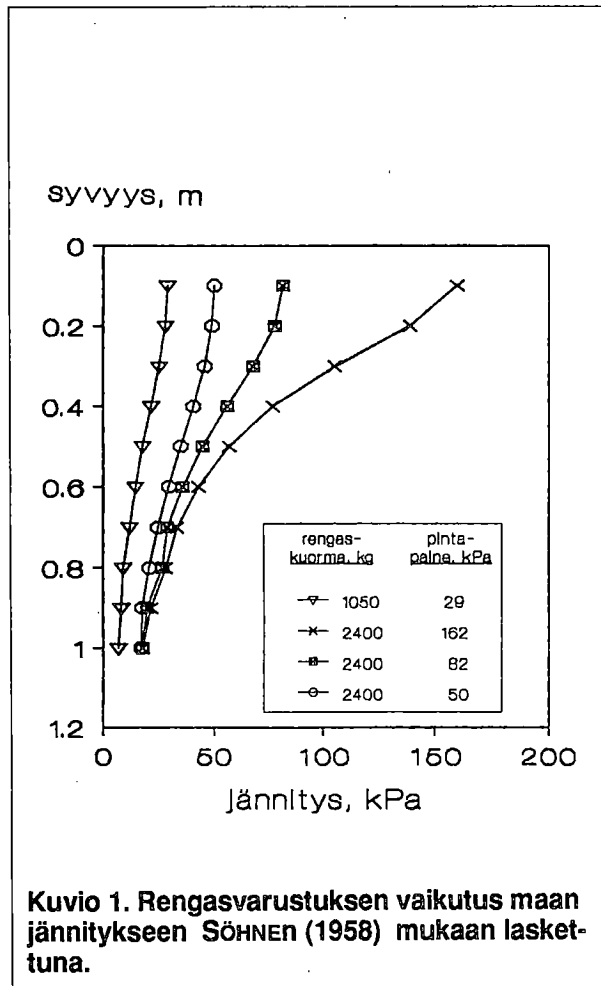
	Rengas- kuorma kg	Rengas- paine kPa	Kontaktiala, cm ²			Pintapaine, kPa		
			Asfaltti	Pelto		Asfaltti	Pelto	
				1. ajo	3. ajo		1. ajo	3. ajo
Traktori edessä								
Perävaunu vakio	750	100	528	2473	1215	142	30	62
Matalaprofiili					1344			56
Traktori takana								
Perävaunu vakio	1050	120	1628	3552	2618	62	29	40
Matalaprofiili					3088			34
Perävaunu								
Vakio	2400	340	654	1481	1441	367	162	167
Matalaprofiili	2400	150	1954	2915	2573	123	82	93

Keskimääräinen pintapaine ei anna todellista kuvaa maahan kohdistuvasta paineesta. Maksimipaine voi olla jopa 200 % keskimääräistä painetta suurempi, jos paine jakautuu epätasaisesti kontaktialalla. Käytetty menetelmä oli myös karkea ja siinä oli monia virhelähteitä. Rajapinta oli vaikea määrittää tarkasti, koska jauhetta oli hankala sirotella esimerkiksi renkaan alle ja paripyörien väliin. Lisäksi paripyörä kulki ensimmäisen ajokerran jälkeen aiempien urien päällä, jolloin se kosketti vain osittain maata.

Taulukossa 4 esitetyt kontaktialat ja pintapaineet olivat absoluuttisina arvoina hieman liian suuria. Niitä voitiin kuitenkin verrata keskenään. Traktorin takarenkaiden osalta tulokset olivat vain viitteellisiä. Pellolla keskimääräinen pintapaine oli renkaiden uppouman vuoksi selvästi pienempi kuin asfaltilla. Vakiorenkaiden uppoaminen puolestaan tasoitti perävaunun renkaiden välistä eroa

pellolla. Matalaprofiilirenkailla ajettaessa uppouma oli keskimäärin 1-2 cm ja vakiorenkailla 11 cm. Tästä huolimatta matalaprofiilirenkaiden pintapaine oli 45-49 % pienempi kuin vakiorenkaiden.

Kuviossa 1 on laskettu jännitys, joka välittyy maahan ympyrän muotoisen kontaktialan keskeltä. Laskuissa käytetään SÖHNEN (1958) esittämää kaavaa, taulukon 4 arvoja ja konsentraatiokerrointa viisi. Pellolla kontaktiala ei ole ympyrän muotoinen ja mm. maan heterogeenisuus vaikuttaa paineen jakautumiseen. Laskelman perusteella voidaan kuitenkin verrata koejäsenten välisiä kuormituseroja koetta perustettaessa. Sen mukaan matalaprofiirenkaat (pintapaine 87 kPa) pienensivät jännitystä noin 0,3 m:iin asti. Pintapaineen lasku 50 kPa:iin olisi kuitenkin pienentänyt sitä vielä selvästi lisää.



2.3 Kenttäkokeiden viljely ja hoito

Peltotyöt tehtiin pääosin tavallisilla maatalouskoneilla normaalia viljelyä vastaavina aikoina. Töissä käytettyjen koneiden akselipainot (Liite 2) olivat pienempiä kuin tiivistyksessä käytetty paino. Ne jäivät painonsiirrosta huolimatta 3 500–4 000 kiloon. Renkaiden ilmanpaine oli 100–150 kPa. HÄKANSSONIN ym:n (1988) mukaan peltotöissä pintapaine ja rengaspaine olivat yleensä samaa suuruusluokkaa, kun renkaiden uppouma oli pieni. Peltotöiden aiheuttama kuormitus oli 118 tnkm/ha (Taulukko 5). Se oli kevyempi kuin esimerkiksi päästekuormitus viljanviljelyssä.

Peltotöiden aiheuttama kuormitus jakautui tasaisesti koejäsenten kesken, ja sen vaikutus oli mukana mittaustuloksissa. Kyntöä lukuun ottamatta peltoajon vaikutus rajoittui todennäköisesti muokauskerrokseen. Esimerkiksi AURAN (1983) mukaan vastaavanlainen akselipaino tiivistä jankkoa

vain maan ollessa erittäin märkää. Kyntön vaikutusta jankkoon ei pystytty arvioimaan.

Kentillä viljeltiin ensimmäisenä koevuonna monitahoista Pomo-ohraa ja sen jälkeen kaksitahoista Kustaa-ohraa. Lannoitus oli 110–120 kg typpeä hehtaarille. Koejakson kasvukauden sääolot esitetään liitteessä 3. Vuosina 1986, 1988 ja 1989 kesäkuussa satoi keskimääräistä vähemmän ja sadannan vajuus oli joka vuosi yli 78 mm. Vuosi 1987 poikkesi edellisistä, sillä se oli viileä ja sateinen.

Osa kentistä sadetettiin vähintään kerran kasvukaudessa (Taulukko 6). Lukuun ottamatta kesä 1987 sadetustarve oli selvä: haihdunta oli yli 70 mm suurempi kuin sadanta (Liite 3). Sadetus pyrittiin ajoittamaan kasvien kannalta hyödyllisimpään aikaan. Tästä syystä tiivistämättömän maan kuivuudesta 0,15 m:ssä mitattiin kahdesti viikossa kipsiblokeilla (Liite 4). Pelto sadetettiin, kun blokien lukema alitti 50 % hyötykapasiteetista. Vuonna 1989 kenttä A olisi pitänyt sadetta aikaisemmin, mikä olisi lieventänyt kuoretun haittoja.

2.4 Näytteenotto ja mittaukset

Taulukossa 7 on esitetty koejakson aikana kentiltä tehdyt mittaukset ja määrittelyt. Maasta mitattiin pääasiassa mekaanista vastusta, koska se oli nopea mittaustapa. Muita menetelmiä käytettäessä ei olisi voitu mitata kaikkien tiivistyskoejäsenten maavaikutusta useana vuonna.

Sadosta määritettiin määrän ohella myös laatutekijöitä. Niitä on muissa tutkimuksissa mitattu melko harvoin, vaikka ne molemmat vaikuttavat kasvin tuotannon kannattavuuteen. Siemensadon puintikosteuden perusteella tarkasteltiin tiivistyksen vaikutusta kasvien tuleentumiseen. Lisäksi mitattiin siemensadossa korjattu typpisato. Sen avulla voitiin tarkastella tiivistämisen vaikutusta kasvien typpienottoon.

2.4.1 Maan mekaaninen vastus

Maan mekaaninen vastus mitattiin kartiopenetrometrillä (Instruction manual bush recording soil penetrometer 1987). Se mittasi kartion maahan painamiseksi tarvittavan voiman 3,5 cm:n välein 0–0,52 m:n syvyydessä (ANDERSSON ym. 1980). Kun kartion halkaisija oli 12,8 mm, mekaaninen vastus (MPa) saatiin kertomalla voima kertoimella

Taulukko 5. Vuosittainen peltoviljelytöiden aiheuttama kuormitus. Koneen paino: työkonen ja traktorin yhteispaino. Äkeen ja kasvinsuojeluruiskun teoreettisesta työleveydestä vähennettiin laskelmassa 5 %.

	Äestys 2 ×	Kylvö- lannoitus	Kasvin- suojaus	Koeruutu-/ talouspuimuri	Kyntö	Yhteensä tnkm/ha
Leveys, m	2,4	2,0	12,0	2,1/2,3	0,7	
Paino, tn	3,5	2,9	2,8	2,9/3,5	3,4	
tnkm/ha	30,7	14,7	2,4	6,4/15,5	48,6	118

Taulukko 6. Sadetuspäivämäärä ja -määrä kenttien A ja B keskiarvona sadetuskerroittain.

	1986	1987	1988		1989	
			I	II	I	II
Ajankohta	17.6.	13.7.	9.6.	17.6.	14.6.	22.6.
Sadetus, mm	22	22	33 ¹⁾	29	18	33

1) tästä 5,4 mm luonnonsateena

0,0762 (Instruction manual bush recording soil penetrometer 1987). Mittaustarkkuus oli penetrometrin valmistajan mukaan $\pm 0,04$ MPa (Instruction manual bush recording soil penetrometer 1987).

Mekaaninen vastus mittaa maan lujuutta. Maan kosteus vaikuttaa absoluuttisiin mittaustuloksiin voimakkaasti: kosteassa maassa arvot ovat pienempiä kuin kuivassa (mm. EHLERS ym. 1983). Kenttäkokeista vastus pyrittiin mittaamaan maan ollessa lähellä kenttäkapasiteettia, jotta kosteusvaihteluiden aiheuttama virhe olisi mahdollisimman pieni. Tämä onnistuikin kahta poikkeusta lukuun ottamatta. Keväällä 1988 maa oli kuivunut 0,15 m:n syvyyteen. Myös syksyllä 1989 koejäsenen kosteuksien välillä oli eroja (Liite 5). Tuolloin kyntökerroksen kosteus oli kuitenkin lähellä kenttäkapasiteettia, eivätkä sen kosteuserot todennäköisesti vaikuttaneet merkittävästi vastukseen. Syvemmillä (0,28–0,38 m:ssä) maan kuivuus ilmeisesti suurensi sadettamattoman ja 300 tnkm vakiorenkain tiivistetyn maan mekaanista vastusta, mikä heikensi tulosten luotettavuutta.

Mittauksia tehtiin taulukossa 7 esitetyllä tavalla. Vuonna 1987 ruudusta mitattiin viisi, vuonna 1990 15 ja muina vuosina 10 pistoa/ruutu. Ruudun keskimääräinen mekaaninen vastus eri syvyyksissä oli siitä mitattujen pistojen mediaani. Mediaania käytettiin, koska haluttiin pienentää maan heterogeenisuuden (kivet yms.) vaikutusta mittaustuloksiin. Absoluuttisina lukuina eri vuosien tuloksia ei voitu verrata. Suhteellisia ja keskinäisiä koejäsenten välisiä eroja voitiin kuitenkin verrata myös vuosien välillä.

2.4.2 Maan huokoisuus ja huokosjakauma

Vuonna 1988 otettiin häiriintymättömiä maanäytteitä 200 cm³:n lieriöihin. Niitä otettiin tiivistämättömästä ja keväällä kolmesti tiivistetystä (B₂C₂-koejäsen) maasta taulukossa 7 esitetyllä tavalla. Näytteet otettiin 0–0,53 m:n syvyydestä neljästä eri kerroksesta. Niistä jokaisesta otettiin neljä rinnakkaisnäytettä. Näytteistä määritettiin maan kokonaishuokoisuus sekä huokosjakauma –1,3 ja –10 kPa:n maaveden potentiaaleissa ALAKUKUN (1993) selostamalla tavalla.

Taulukko 7. Tutkimuksen aikana tehdyt mittaukset ja määritykset.

Mittaus	Vuosi	Tiivistys	Mitatut kerranteet	
			Kenttä A	Kenttä B
Mekaaninen vastus	1987	kaikki	koko kenttä	koko kenttä
	1988	B ₀ ja B ₂	I-IV	
	1989	kaikki	I-IV	
	1990	kaikki		I-IV
Tilavuuspaino	1989	kaikki	I-IV	
Huokoisuus	1988	B ₀ ja B ₂	I-IV	
Sadon määrä	1986-89	kaikki	koko kenttä	koko kenttä
Puintikosteus	1986-89	kaikki	koko kenttä	koko kenttä
Tyypipitoisuus	1986-89	kaikki	koko kenttä	koko kenttä
Tyypisato	1986-89	kaikki	koko kenttä	koko kenttä

B₀ = tiivistämätön ja B₂ = 300 tnkm, vakioirenkain tiivistetty koejäsen

Määritysvirhettä aiheuttivat näytteen tilavuuden vakioiminen, punnitustarkkuus ja pinnan veisto, joka tukki huokosia. Koejäsenten välisiin eroihin ne eivät kuitenkaan vaikuttaneet merkittävästi. Absoluuttisissa luvuissa suurin virhe oli laskentavasta johtuen maan ilmatilavuudessa. Koska määritykset tehtiin kerroksittain, tuloksissa oli mukana myös katkomisen avaamia huokosia. Tulokset eivät kertoneet huokosten jatkuvuudesta, huokostihedestä tai maan ominaisuuksista yhtenäisenä profiilina.

2.4.3 Maan tilavuuspaino

Maan kuivatilavuuspaino määritettiin syksyllä 1989 neljän käsittelyvuoden jälkeen. Määritys tehtiin kerrosmaanäytteistä (HEINONEN 1960), joita otettiin 0,03–0,48 m:n syvyydestä viiden senttimetrin kerroksina taulukossa 7 esitetyllä tavalla. Ruutunäyte yhdistettiin kolmesta rinnakkaisnäytteestä. Näytteet kuivattiin ja niistä laskettiin maan kuivatilavuuspaino (σ , kg/m³):

$$\sigma = \frac{km_i}{300} 10^4 \quad (2)$$

missä m_i = paino ilmakeivana (kg), 300 = näytteen tilavuus (cm³) ja k = maan kuiva-ainepitoisuus (%).

Tulosten hajonta oli suuri. Tarkistusten perusteella todettiin, etteivät virheet punnituksessa tai tilavuus-

nessa selittäneet eroja. Hajonta johtui pääosin maan heterogeenisuudesta, jota kyntökerroksessa lisäsi viulun väliin jäänyt säntki ja olki.

2.4.4 Siemensadon määrä ja laatu

Molemmilta kentiltä korjattiin jyväsato keskimäärin 29 m²:n nettoruudusta vuosina 1986–1989. Kaikkien koejäsenten sato korjattiin samana päivänä. Hehtaarisato (kg/ha) laskettiin 15 %:n kosteutta vastaavaksi. Puintikosteutta varten määritettiin 40 g:n näytteen kuiva-ainepitoisuus kuivaamalla se yön yli 105 °C:n lämpötilassa. Kuiva-aineen tyypipitoisuus määritettiin WETZELIN (1983) ja McGUIREN (1986) kuvaamalla NIR-menetelmällä MTT:n Keskuslaboratoriossa. Ohran raakavalkuaispitoisuus laskettiin käytämällä kerrointa 6,25.

2.5 Aineisto ja sen tilastollinen käsittely

Mekaanisen vastuksen mittausten muodostama aineisto oli edustava mitattujen kerranteiden ja koejäsenten osalta. Tiivistymisen kumuloitumista olisi voitu selvittää tarkemmin, jos mittaukset olisi tehty jokaisen tiivistyksen jälkeen molemmilta kentiltä.

Kasvuston lakoontuminen vuonna 1987 heikensi satoaineiston luotettavuutta. Lisäksi kevättiivistys vuonna 1988 vaikeutti kuormitusvaikutuksen kumuloitumisen seuranta.

Aineiston perusteella voitiin kuitenkin tehdä johtopäätöksiä sadetuksen merkityksestä, rengasvarustuksen ja ajomäärän vaikutuksesta sekä tietyin varauksin satovaikutuksen kumuloitumisesta.

Kenttäkokeiden koesuunnitelma vastasi strip-plot koejärjestelyä (STEEL ja TORRIE 1980, s. 390, MILLIKEN ja JOHNSON 1984, s. 316). Siinä osaruudut olivat sarakkeina ja pääruudut riveinä (Liite 1). Satotulokset ja osa maasta tehdyistä mittauksista (mekaaninen vastus ja tilavuuspaino) testattiin tilastollisesti kaksisuuntaisella varianssianalyysillä kokeittain, vuosittain sekä maamittaukset syvyysittäin MILLIKENin ja JOHNSONin (1984, s. 316) selostaman mallin mukaan.

Tiivistysten väliset parivertailut tehtiin, kun varianssianalyysin merkitsevyystaso alitti 0,05. Niissä käytettiin kontrasteja ja pienin merkitsevä ero laskettiin Fisherin LSD-testillä 5 %:n riskitasolla (MILLIKEN ja JOHNSON 1984, s. 116–117, 162, 318–321). Mikäli koejäsenten välillä oli yhdysvaikutus, parittaiset vertailuarvot laskettiin kummankin sadetuskäsittelyn osalta erikseen (MILLIKEN ja JOHNSONin (1984, s. 319–320).

Huokoisuusaineisto testattiin varianssianalyysillä lohkoittain satunnaistettujen ruutujen mallia käyttäen (STEEL ja TORRIE 1980, s. 196). Pienin merkitsevä ero laskettiin tarvittaessa Tukeyn HSD-testillä 5 %:n riskitasolla (STEEL ja TORRIE 1980, s. 185).

Tulosten laskennassa ja tilastollisessa testauksessa käytettiin SPSSX (SPSS-X user's guide 1988) ja SAS (SAS/stat user's guide. GLM-Varcomp 1990) ohjelmistoja VAX-ympäristössä.

3 TULOKSET

3.1 Tiivistämisen vaikutus maahan

3.1.1 Mekaaninen vastus

Maan mekaanisen vastuksen mittaustulokset esitetään kuvioissa 2–6 ja liitteissä 6–8. Ne esitetään sadetuskäsittelyjen keskiarvona silloin, kun sadetus ei vaikuttanut merkitsevästi vastukseen.

Maan kuivuus vaikutti tuloksiin kahtena vuonna. Keväällä 1988 se korosti koejäsenten välistä eroa 0

–0,15 m:n syvyydessä (Kuvio 3). Syksyllä 1989 sadettamattoman maan kuivuus (Liite 5) lisäsi sen vastusta 0,28–0,38 m:n syvyydessä. Samasta syystä myös sadetettu 300 tnkm vakioirenkain tiivistetty maa oli muita koejäseniä lujempaa 0,28–0,32 m:ssä.

Ilmeisesti edellisestä johtuen jankon mekaaninen vastus oli vuonna 1989 suurempi kuin muissa lohkolta tehdyissä mittauksissa (PIETOLA 1987, PITKÄNEN 1988, ALAKUKKU 1989, TIIRI 1991). Muina mittausvuosina se oli samaa luokkaa edellisten kanssa. Vuonna 1987 vastus oli pienempi kuin myöhemmin vuosina. Tähän oli syynä se, että ko. vuonna penetrometrin kärkikappale oli kulunut, mikä pienensi sen halkaisijaa.

Syksyinen kuormitus tiivisti kostean savimaan 0,35 m:n syvyyteen (Kuvio 2–5). Kevätkuormitus vuonna 1988 tiivisti lähinnä kyntökerroksen alaosan (Kuvio 3, Kappale 3.2). Tiivistymä ei syventynyt koejakson aikana. Tulosten perusteella oli kuitenkin vaikea päätellä kuormituksen toistamisen vaikutusta. Mittaukset alkoivat vasta toisen tiivistyksen jälkeen, joten ei tiedetty, tiivistikö jo ensimmäinen kuormitus tähän syvyyteen. Näin saattoi käydä, sillä sen jälkeen tiivistettävässä maassa oli 0,2–0,3 m:ssä kuivahko kerros. Se saattoi madaltaa jännityksen kulkeutumissyvyyttä ja myös lieventää tiivistymistä. Kuormituksen toiston merkitys olisikin saatu paremmin esille, jos vastus olisi mitattu syksyisin ennen ja jälkeen tiivistämisen.

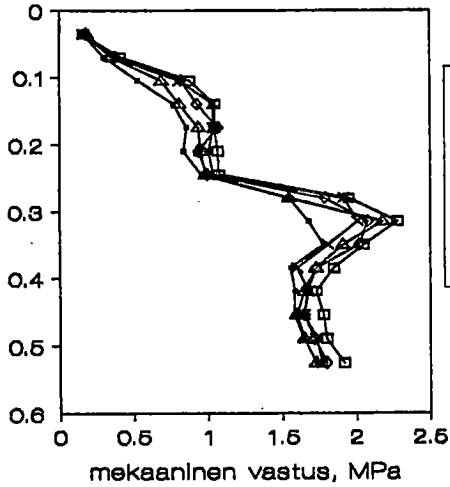
Tulokset viittasivat kuitenkin siihen, että vuoden 1987 (Kuvio 2) jälkeen koejäsenten väliset suhteelliset erot olivat kasvaneet jankossa (Kuvio 4–6). Tämä saattoi johtua tiivistymisen kumuloitumisesta.

Vuosittaisen ajomäärän lisääminen (100 → 300 tnkm) nosti maan mekaanista vastusta (Liitteet 6–8), mutta tiivistymän syvyyteen se ei vaikuttanut merkittävästi. Perävaunun rengaspaineen lasku (matalaprofiilirenkaiden käyttö) pienensi pintapainetta (Taulukko 4). Teoreettisen laskelman mukaan (Kuvio 1) se pienensi myös maassa levinnyttä jännitystä n. 0,3 m:n syvyyteen asti.

Tulosten mukaan perävaunun renkaat eivät kuitenkaan vaikuttaneet muokkauserroksen tiivistymi-

Kenttä A 1987

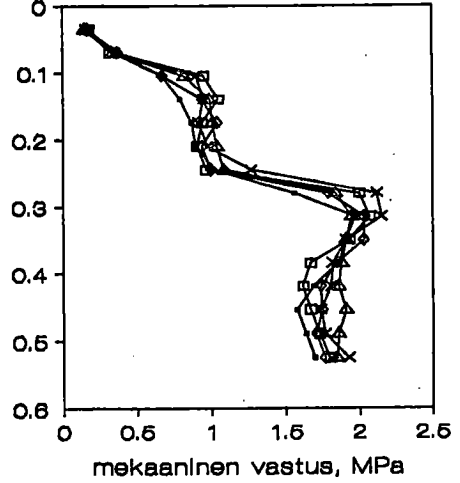
syvyys, m

tillvistys

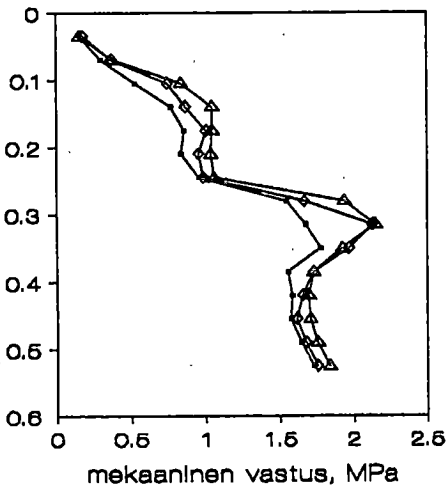
- tilvistämätön
- ◇— 100 tnkm matalaprof.
- ▲— 100 tnkm vakio
- 300 tnkm matalaprof.
- *— 300 tnkm vakio

Kenttä B 1987

syvyys, m

alokerrat A

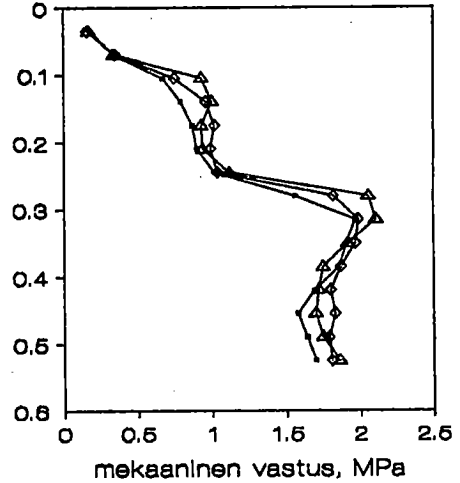
syvyys, m

tnkm/ha

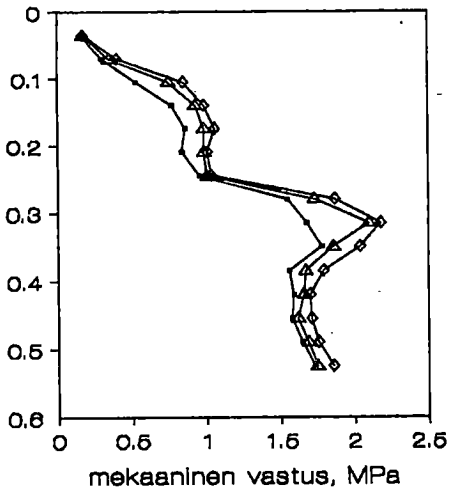
- ◇— 0
- ◇— 100
- ▲— 300

alokerrat B

syvyys, m

renkaat A

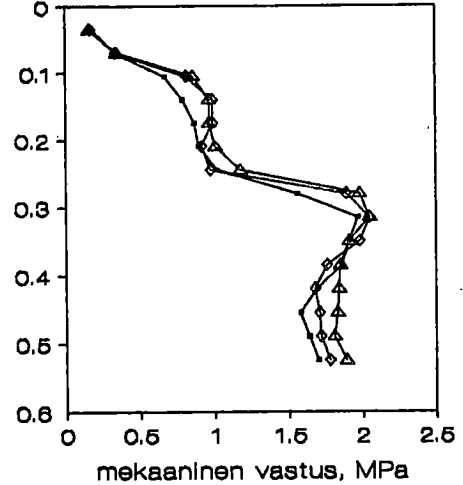
syvyys, m

renkaat

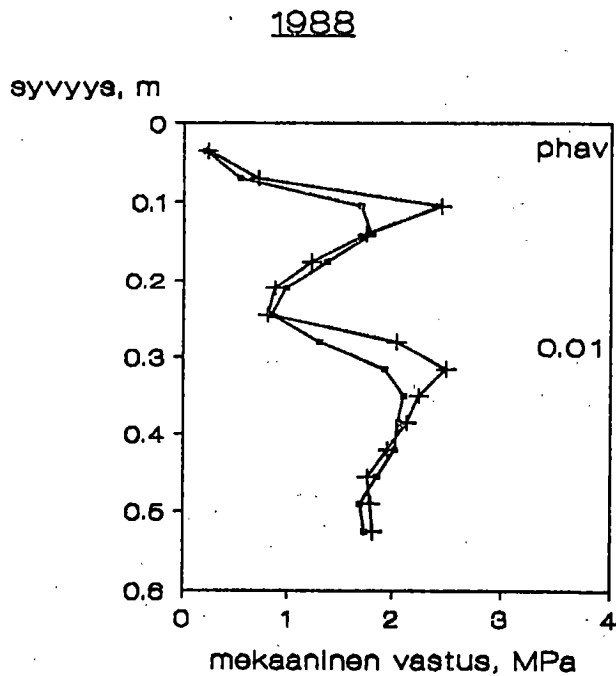
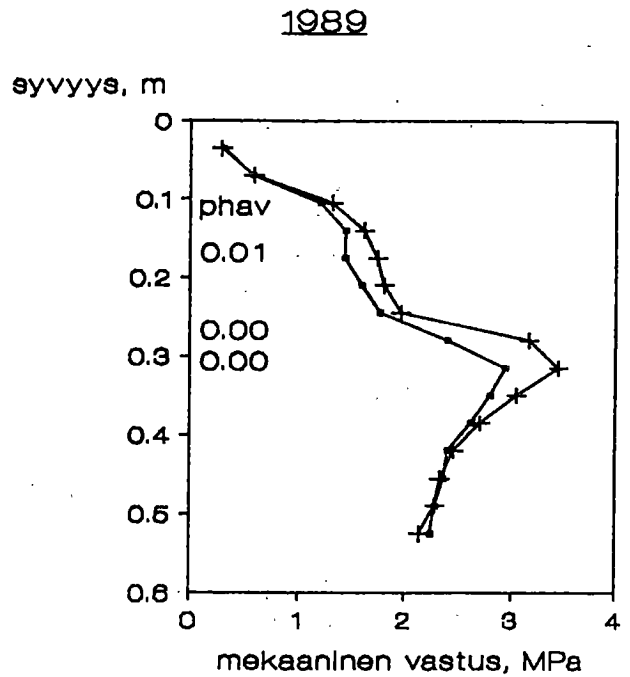
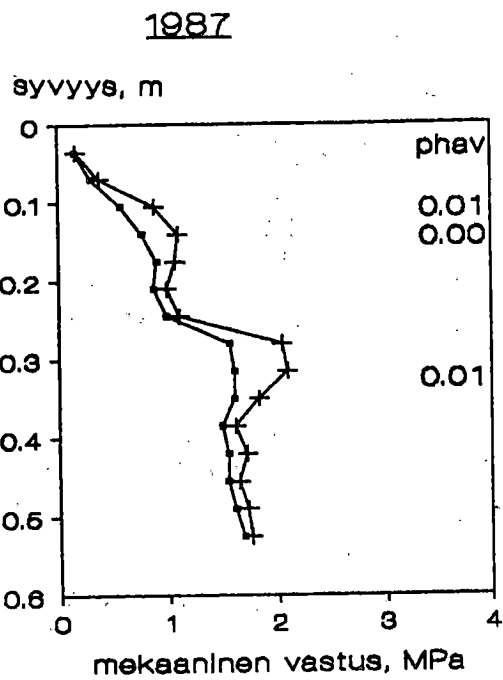
- ◇— tilvistämätön
- ◇— matalaprofilii
- ▲— vakio

renkaat B

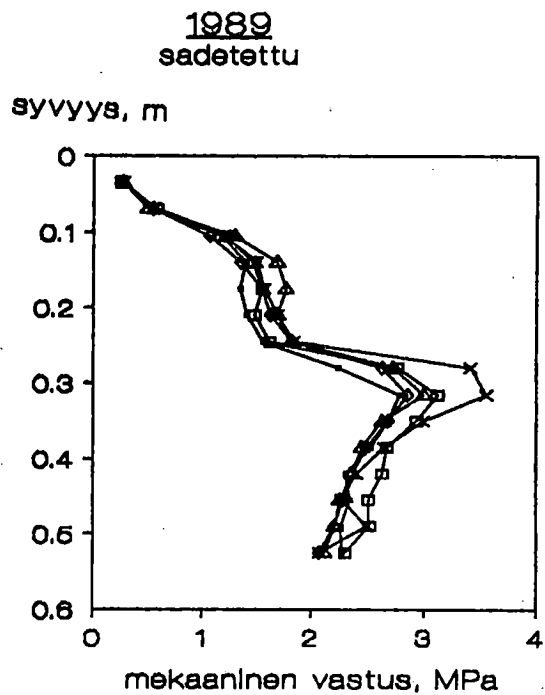
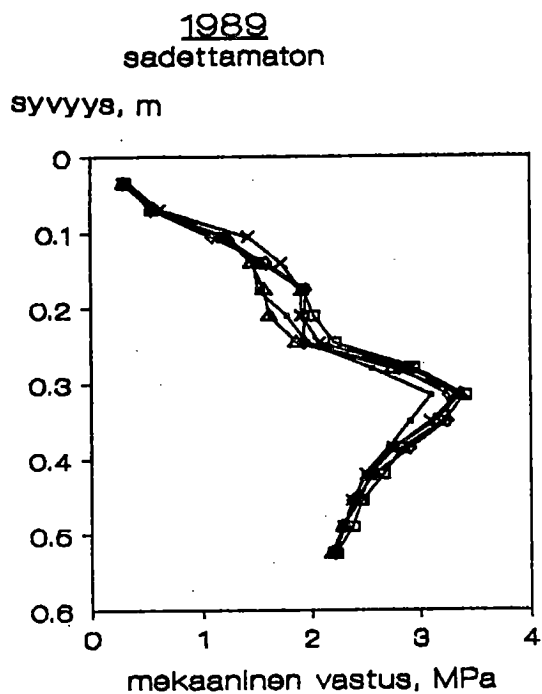
syvyys, m



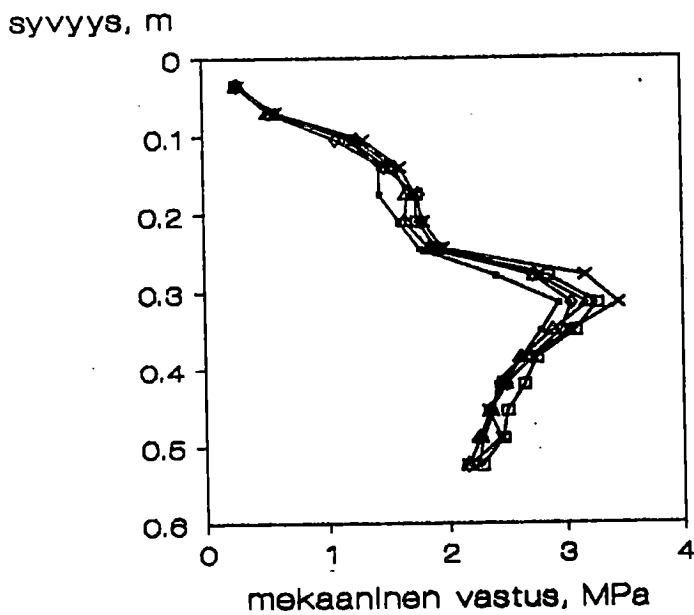
Kuvio 2. Maan mekaaninen vastus syksyllä 1987 sen kosteuden ollessa lähellä kenttäkapasiteettia. Liitteessä 6 tilastolliset käsittelyt.



Kuvio 3. Maan mekaaninen vastus samoista ruuduista keväällä 1988 sekä syksyinä 1987 ja 1989 mitattuna. Keväällä maan kuivuus vaikutti tuloksiin 0-0,15 m:ssä.



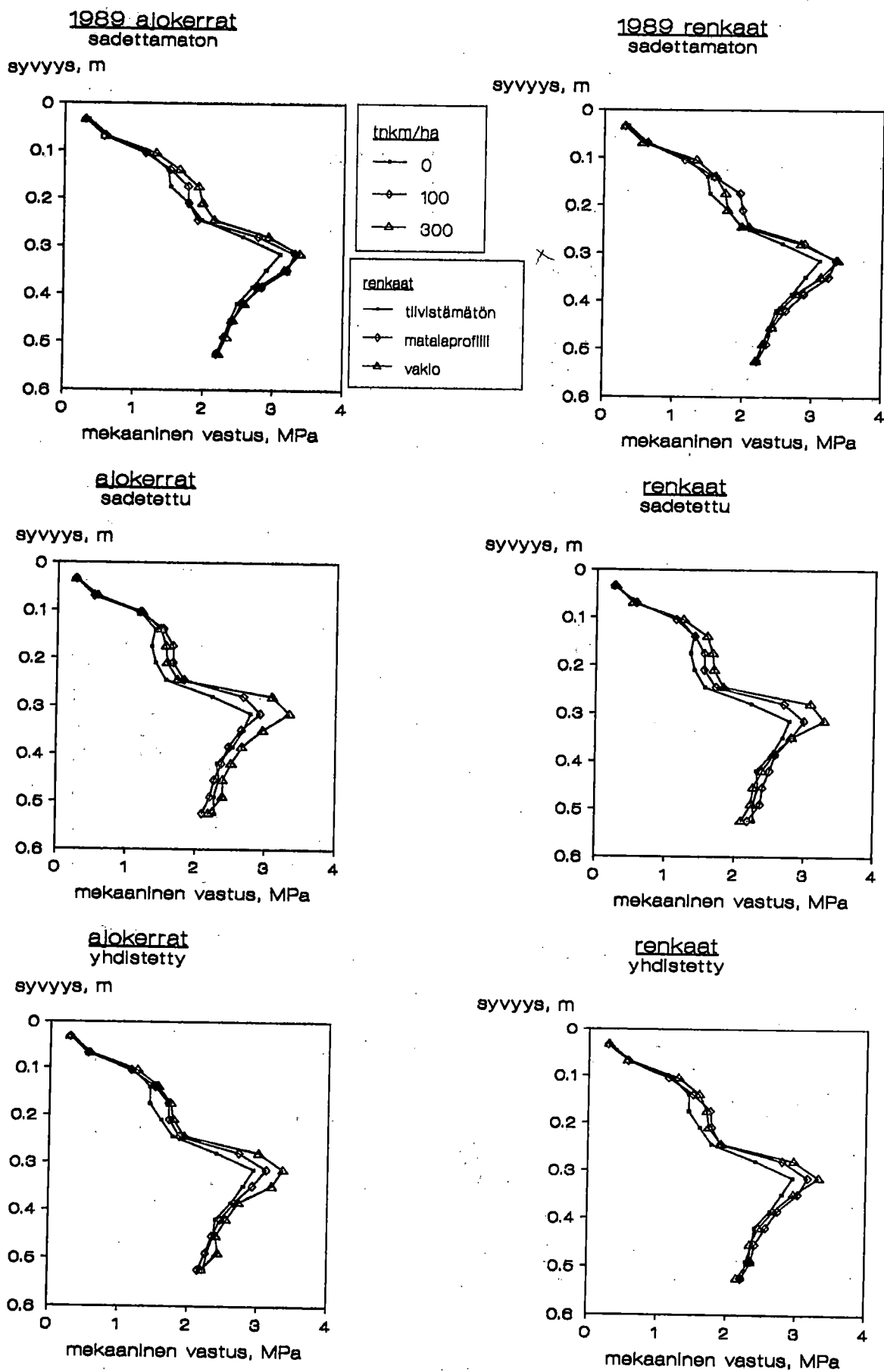
koko kenttä



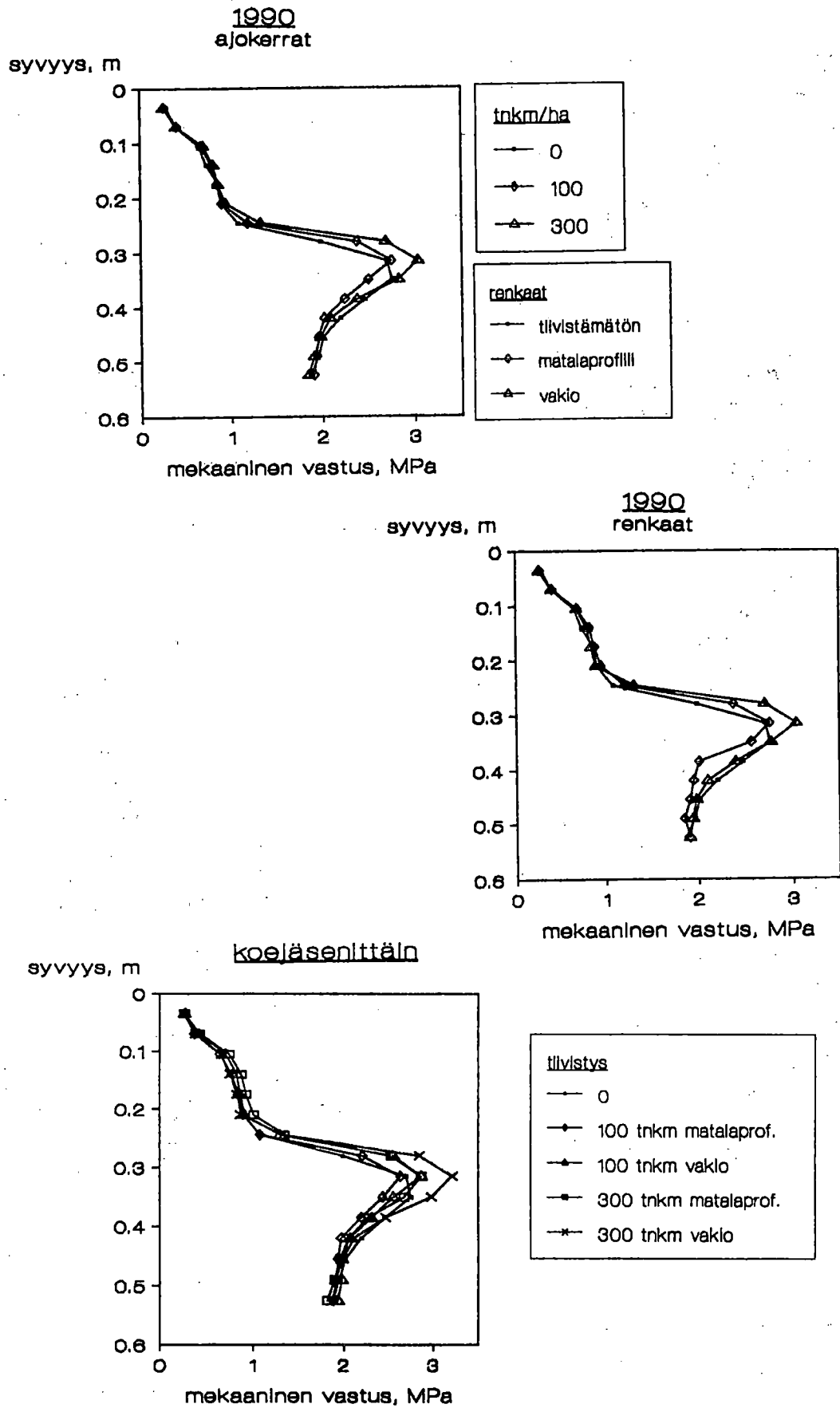
tiivistys

- tiivistämätön
- ◆ 100 tnkm matalaprof.
- ▲ 100 tnkm vakio
- ◻ 300 tnkm matalaprof.
- ✱ 300 tnkm vakio

Kuvio 4. Maan mekaaninen vastus syksyllä 1989. Maan kosteus mitattaessa liitteessä 5. Tilastolliset käsittelyt liitteessä 7.

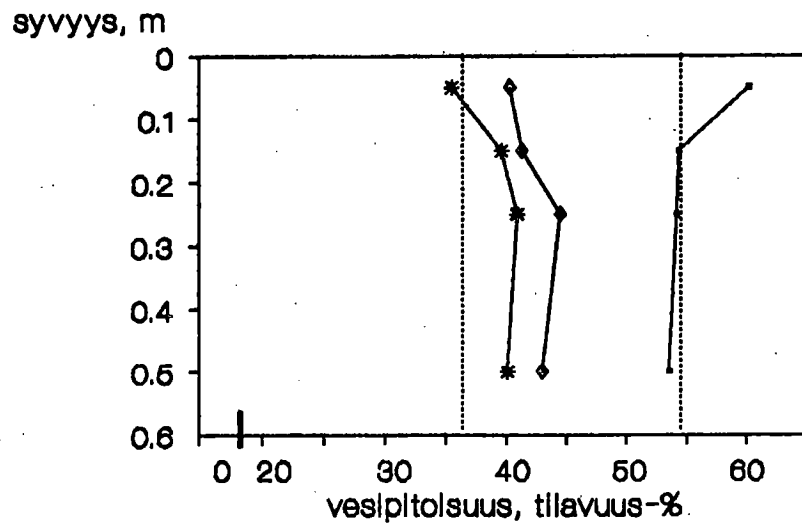


Kuvio 5. Maan mekaaninen vastus syksyllä 1989. Maan kosteus mitattaessa liitteessä 5. Liitteessä 7 tilastolliset käsittelyt.



Kuvio 6. Maan mekaaninen vastus syksyllä 1990 kosteuden ollessa lähellä kenttäkapasiteettia. Liitteessä 8 tilastolliset testit.

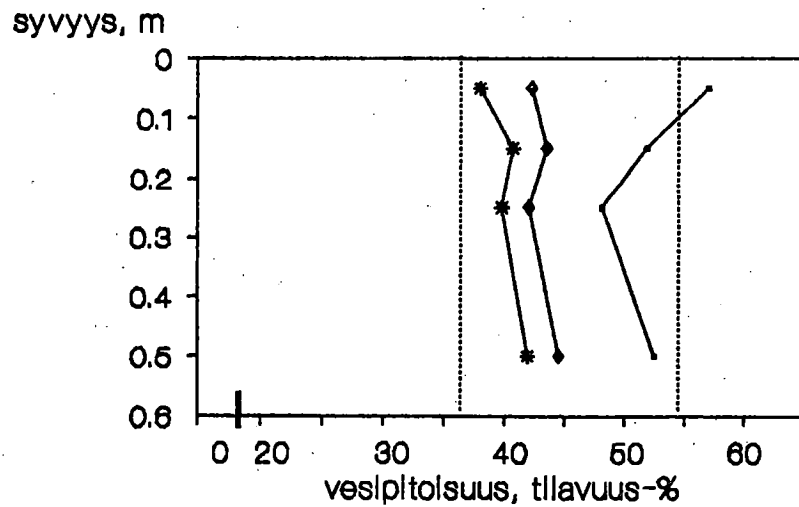
Tiivistämätön



veden täyttämät hiek

- kokonaishuokoisuus
- ◇ halkaisija < 240 μm
- * halkaisija < 30 μm

Tiivistetty



Kuvio 7. Tiivistämättömän ja tiivistetyn maan huokoisuus ja huokosjakauma eri syvyyksissä vuonna 1988.

Taulukko 8. Kuviossa 7 esitetyn aineiston varianssianalyysin tulokset. P_{hav} = merkitsevyystaso. Huokoisuus ja huokostilavuudet esitetty tilavuusprosentteina. B_0 = tiivistämätön ja B_1 = syksyinä 1985 ja 1986 300 tnkm:n sekä keväällä 1988 159 tnkm:n kuormituksella tiivistetty maa.

Syvyys, m	Huokoisuus			Huokokset $\varnothing > 240 \mu\text{m}$			Huokokset $\varnothing > 30 \mu\text{m}$		
	B_0	B_1	P_{hav}	B_0	B_1	P_{hav}	B_0	B_1	P_{hav}
0,02–0,07	60	57	0,01	20	15	0,04	25	19	0,02
0,12–0,17	54	52	0,04	13	8	ns	15	11	0,04
0,22–0,27	54	48	0,01	10	6	0,01	13	8	0,01
0,47–0,52	54	53	ns	11	8	ns	14	11	ns

seen (Kuviot 2, 4–6). Tämä ei vastannut aiempia tuloksia (mm. TAYLOR ym. 1980, BOLLING 1987). Syy oli ilmeisesti se, että tässä kokeessa myös vauhua vetänyt traktori tiivisti maata, mikä tasoitti perävaunun renkaiden välistä eroa. Muissa tutkimuksissa maata tiivisti vain tutkittava rengas. Lisäksi matalaprofiilirenkaat tiivistivät vakioirenkaita leveämmän alan, mikä voi lisätä niiden aiheuttamaa tiivistymistä. Rengasvertailua vaikeutti myös kevään 1988 tiivistys. Ilman sitä tilanne olisi vastannut käytäntöä: matalaprofiilirenkailla pystyttiin ajamaan huonommissa oloissa kuin vakioirenkailla. Myös OLSENin (1990) laskelman mukaan pintapaine vaikutti kyntökerrosta syvemmälle levinneeseen jännitykseen. Tässä kokeessa rengasvarustus ei vaikuttanut tiivistymän syvyyteen. Tulokset viittasivat kuitenkin siihen, että neljän kuormitusvuoden yhteisvaikutuksena matalaprofiilirenkaat olivat tiivistäneet jankkoa lievemmin kuin vakioirenkaat (Kuviot 4–6). Tämä tuki CHAMENin ym:n (1990) tuloksia.

Routa (Liite 3) ja kyntö eivät hävittäneet kyntökerroksen alaosan tiivistymää seuraavaan kasvukauden mennessä (Kuviot 2–5). Kaksi vuotta tiivistämisen jälkeen ko. kerroksessa ei ollut enää tiivistymää (Kuvio 6). Kyntökerroksen alapuolelta tiivistymä ei hävinnyt mittausjakson aikana.

3.1.2 Huokoisuus ja huokosjakauma vuonna 1988

Absoluuttisiin mittaustuloksiin vaikutti mittaavuonna tehty kevättiivistys. Se todennäköisesti suurensi koejäsenten välisiä eroja. Tuloksista ei kuitenkaan pystytty erottamaan sen ja aiempien syystiivistysten vaikutuksia.

Tiivistäminen muutti merkittävästi vain kyntökerroksen ominaisuuksia. Se pienensi kyntökerroksen huokoisuutta ja suurten huokosten ($\varnothing > 30 \mu\text{m}$) määrää lähes yhtä paljon: keskimäärin neljä pro-

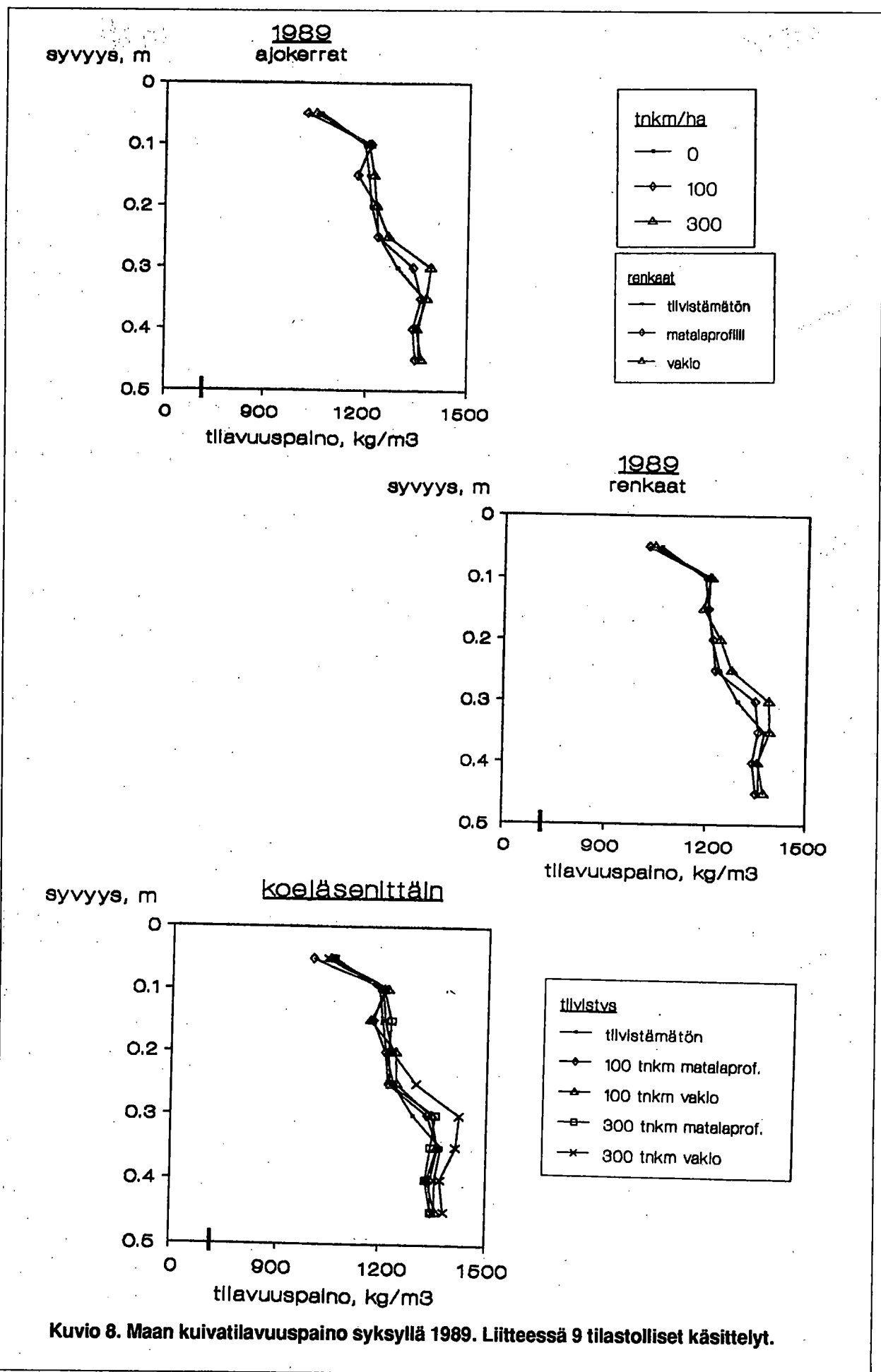
senttiyksikköä (Kuvio 7, Taulukko 8). Tämä vastasi aiempia savimaan tuloksia (MEREDITH ja PATRICK 1961, SOMMER 1976, MARTI 1983, AURA 1983). Tiivistäminen pienensi eniten kaikkein suurimpien huokosten määrä ($\varnothing > 240 \mu\text{m}$), mikä myös vastasi aiempia tuloksia (MARTI 1983, AURA 1983).

Tiivistämisestä huolimatta maan suurten huokosten ($\varnothing > 30 \mu\text{m}$) tilavuus oli melko suuri, mikä selittää tiivistämisen lievää vaikutusta satoon vuonna 1988. Tiivistetyssä maassa suurten huokosten tilavuus laski kuitenkin 0,25 m:n syvyydessä alle 10 %:n rajan, joka on kasvien kannalta kriittinen (CZERATZKI 1966, RASMUSSEN 1976, AURA 1983). Kyntökerrosta syvemmällä maan rakenne oli molemmissa profiileissa hyvä. Esimerkiksi maan suurten huokosten ($\varnothing > 30 \mu\text{m}$) tilavuus oli suurempi kuin MYLLYKSEN (1986) mittauksissa tiivistämättömässä savimaassa.

3.1.3 Tilavuuspaino neljän tiivistysjakson jälkeen

Sadetus ei vaikuttanut merkittävästi tilavuuspainoon ja tulokset esitettiin sadetuskoejäsenten keskiarvoina. Rinnakkaisnäytteitä otettiin ruudusta ilmeisesti liian vähän. Tulosten hajonta oli suuri, eivätkä käsittelyjen väliset erot olleet merkittäviä (Liite 9).

Tiivistäminen ei vaikuttanut merkittävästi kyntökerroksen tilavuuspainoon (Kuvio 8), vaikka penetrometrimittausten mukaan sen alaosassa oli tiivistymä (Kuvio 4). Esimerkiksi 300 tnkm:n tiivistys nosti mekaanista vastusta 0,13–0,23 m:ssä 15 % mutta tilavuuspainoa vain 1 %:n. Tulosten erilaisuus johtunee siitä, että VOORHEESin ym:n (1978) mukaan mekaaninen vastus on herkempi maan tiivistyneisyyden mittari kuin tilavuuspaino.



Kyntökerroksen alapuolella (0,28–0,33 m:ssä) tiivistetyn maan tilavuuspaino oli 4–8 % suurempi kuin tiivistämättömän (Liite 9). Tulosten mukaan 300 tnkm:n tiivistys tai vakioirenkaiden käyttö nosti keskimääräistä tilavuuspainoa enemmän kuin 100 tnkm:n ajo tai matalaprofilirenkaiden käyttö, mikä tuki mekaanisen vastuksen mittaustuloksia. Selvästi suurin tilavuuspaino oli 300 tnkm vakioirenkain tiivistetyssä maassa.

3.2 Tiivistämisen vaikutus ohrasadon määrään ja laatuun

Tiivistämisen satovaikutus oli molemmilla kentillä samanlainen (Liitteet 10–13), joten tulokset esitetään koekenttien keskiarvona. Vuonna 1987 kasvuston lakoontuminen heikensi tulosten luotettavuutta. Maan tiivistyminen vähensi lakoontumista: tiivistämättömän kasvusto lakoontui 50 %, 100 tnkm ajettu 40 % ja 300 tnkm ajettu 30 %. Muidenkin tulosten mukaan (ALAKUKKU ja ELONEN 1989a, LIPIEC ym. 1990) maan tiivistyminen vähensi viljan lakoontumista. Lakoontuminen pienensi tiivistämisen keskimääräistä satovaikutusta (Kuviot 9 ja 10). Tiivistämisen ohella myös sade- tus sateisena kasvukautena heikensi ohran kasvua, mikä vähensi sen lakoontumista. Sadettamaton kasvusto lakoontui 40 % ja sadetettu 30 %.

Vuonna 1988 rengasvertailun sijasta verrattiin syys- ja kevättiivistystä. Kevättiivistys ennen kylvömuokkausta hienonsi kuivunutta pintamaata. Se muutti selvästi kylvömuokkauskerroksen yläosan (0–2,5 cm) murujakaumaa:

Erikokoisten murujen osuus (%) kuivaseulonnassa

Koejäsen	yli 8 mm	2–8 mm	alle 2 mm
Tiivistämätön	42	37	21
300 tnkm syksy	38	42	20
159 tnkm kevät	31	41	28

Murujakauma määritettiin kokeesta A. Hienomuruihin kylvöalausta paransi ohran orastumista kuivana keväänä. Hyvän kasvuunlähdon ansiosta kevättiivistettyjen koejäsenten sato oli muita parempi, kun kasvustoa ei sadetettu. Oraita kokeessa A oli keskimäärin:

Oraita, kpl/m²

Tiivistämätön	355
Tiivistys 300 tnkm syksyllä	334
Tiivistys 159 tnkm keväällä	375

Kuvioiden 9 ja 10 tulosten mukaan tiivistäminen laski satoa keskimäärin 5 %. Ajomäärän lisääminen (100 → 300 tnkm) nosti satotappioita vain kaksi prosenttiyksikköä (Kuvio 10, Liite 10). Se oli selvästi vähemmän kuin kuin HÄKANSSONIN (1990) vastaavanlaisissa kokeissa.

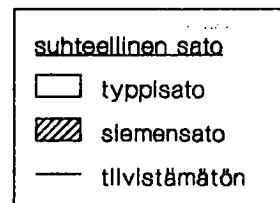
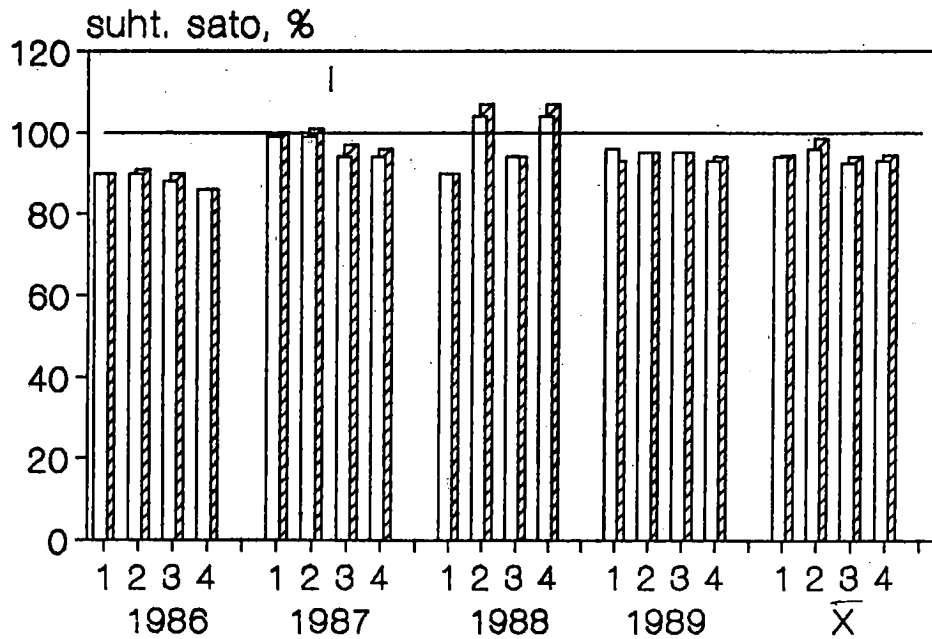
Kokeista korjattu sato oli yleensä hyvä (yli 4 000 kg/ha) lukuun ottamatta sadettamattomia koejäseniä vuosina 1988 ja 1989. Tiivistämisen satovaikutus olisi voinut olla suurempi, jos kokeet olisi perustettu huonorakenteiselle maalle. Nyt kentät perustettiin alkujaan hyvärakenteiselle ja viljavalle savimaalle. Eikä kentällä ollut esimerkiksi pinta-vesiongelmia tiivistämisen jälkeen. Tämä ilmeisesti lievensi tiivistyksen vaikutusta. Lisäksi tiivistämisen vaikutus olisi voinut kasvaa, jos kokeessa olisi viljelty esimerkiksi kevätvehnää tai kauraa. ALAKUKUN ja ELOSEN (1989a) mukaan ne kärsivät savimaan tiivistymisestä enemmän kuin ohra.

Tiivistyksen toistaminen ei lisännyt satotappiota vuosittain, mikä poikkesi HÄKANSSONIN ym:n (1988) tuloksista. Maa saattoi olla jo ensimmäisen kuormituksen jälkeen niin lujaa, että se ei enää myöhemmin tiivistynyt merkittävästi. Lisäksi sadettamattomien koejäsenten satoon vaikutti tiivistämistä enemmän alkukesien 1988 ja 1989 kuivuus (Liite 3).

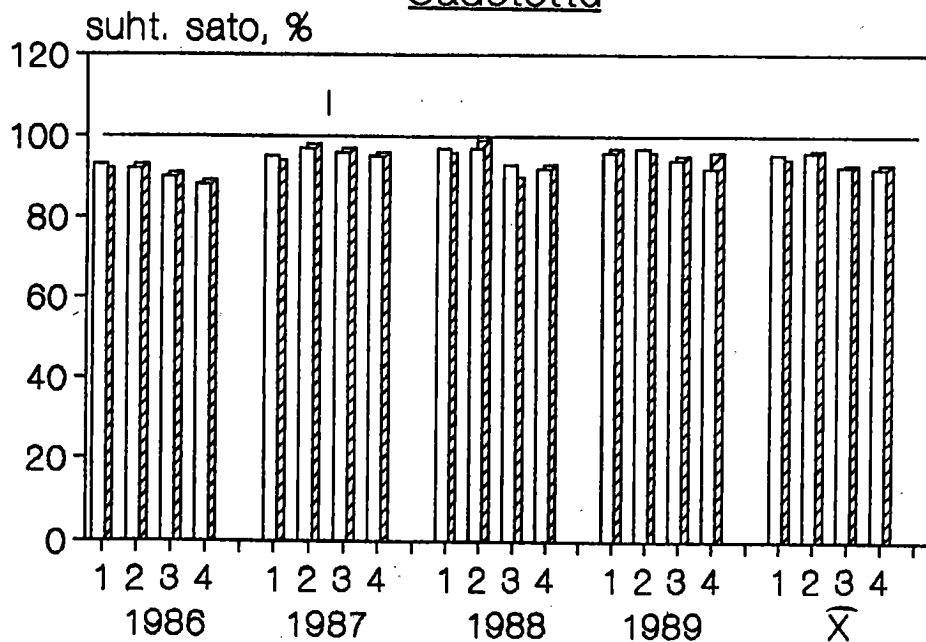
Perävaunun rengaspaineen lasku (350–150 kPa) ei pienentänyt satotappioita (Kuvio 10, Liite 10). Tämä tuki VERMEULENIN (1991) tuloksia. HÄKANSSONIN (1990) mukaan niiden käyttö kuitenkin pienensi viljan satotappioita. Vermeulenin mukaan mikään käytetyistä rengasvarustuksista ei tiivistänyt kyntökerroksen suurten huokosten määrää niin paljoa, että olisi tullut satotappioita. Tässäkin tutkimuksessa satotulos tuki maasta tehtyjä mittauksia. Matalaprofilirenkaiden käyttö ei pienentänyt merkittävästi myöskään maan mekaanista vastusta. Syitä tähän tarkasteltiin kappaleessa 3.1.1.

Lukuun ottamatta vuotta 1987 kesäkuun sadannan vajuus oli yli 78 mm (Liite 3). Sadetus nosti ko. vuosina satoa merkitsevästi (Liite 10). Se ei kuitenkaan lieventänyt tiivistämisen keskimääräistä vaikutusta (Kuvio 9). Aiempien tulosten mukaan sadetus lievensi satotappioita, kun maa tiivistettiin keväällä (ELONEN 1980) tai maassa oli kyntöantura (BARRACLOUGH ja WEIR 1988). Vuonna 1988

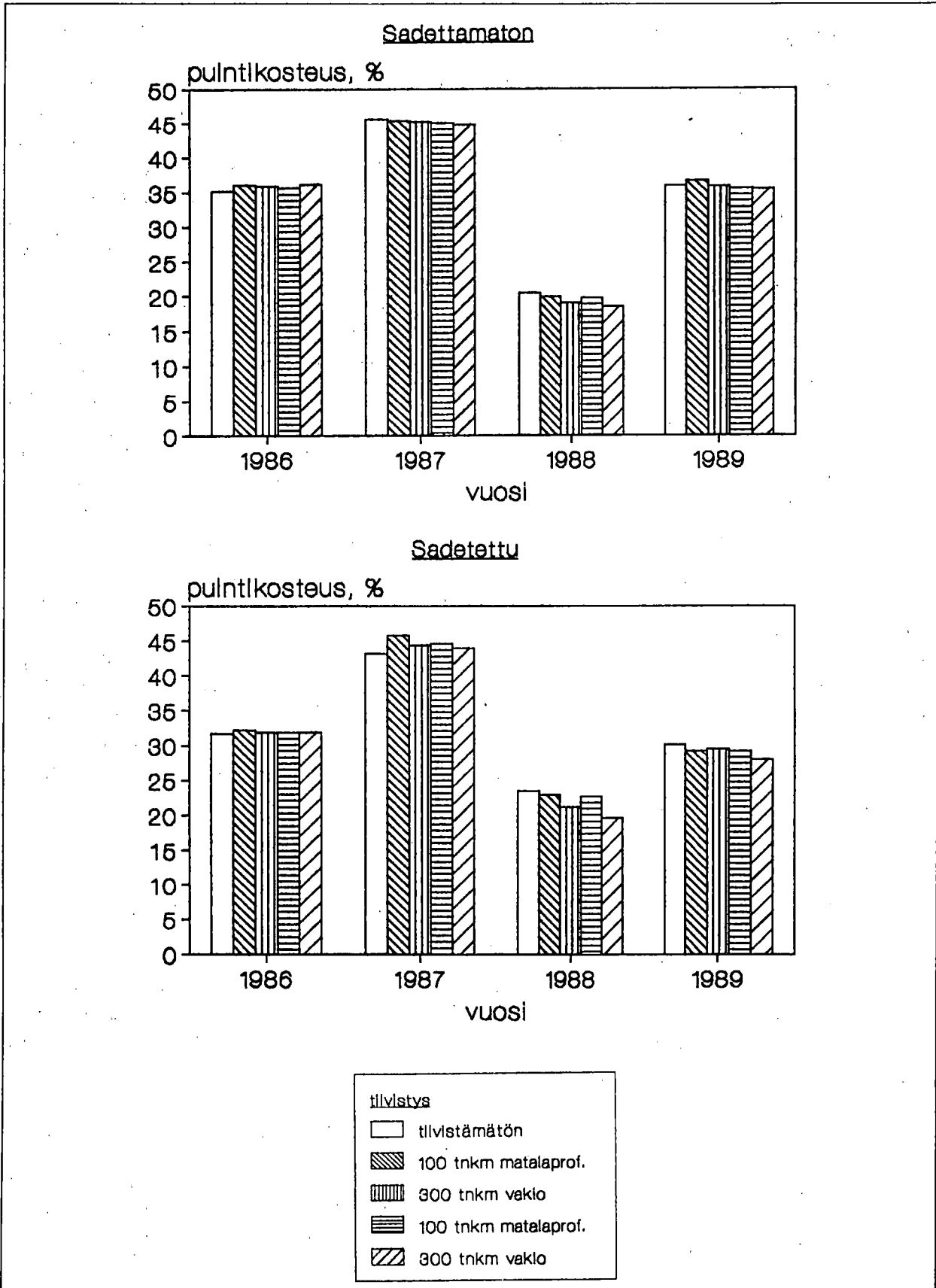
Sadettamaton



Sadetettu



Kuvio 9. Suhteellinen siemen- ja typpisato koejakson aikana. 1 = 100 tnkm matalaprofiili- ja 2 = 100 tnkm vakiorenkain, 3 = 300 tnkm matalaprofiili- ja 4 = 300 tnkm vakiorenkain tiivistetty. Vuonna 1988 2 = 53 tnkm:n ja 4 = 159 tnkm:n kevättiivistys. | = tiivistämätön lakoontui.



Kuvio 11. Ohran puintikosteus koevuosittain. Vuonna 1988 vakio renkaiden tilalla oli kevättllivistys. Liitteessä 11 tilastolliset käsittelyt.

kevättiivistys lisäsi sadettamattomien kasvustojen satoa. Syitä tähän tarkasteltiin tämän kappaleen alussa. Sadetettaessa maan tiivistäminen kuitenkin pienensi satoa. Ilmeisesti tiivistämätön koejäsen hyötyi sadetuksesta enemmän kuin sitä nopeammin kehittyneet kevättiivistetyt koejäsenet.

ALAKUKUN ja ELOSEN (1989a) mukaan voimakas savimaan tiivistäminen laski viljan puintikosteutta, koska se pakkotuleennutti kasvuston. Tässä koeksessa syystiivistys ei vaikuttanut merkittävästi ohran puintikosteuteen (Kuvio 11, Liite 11). Kevättiivistys vuonna 1988 sen sijaan laski sitä muihin koejäseniin verrattuna, mikä tuki FERGEDALIN (1971) tuloksia. Kevättiivistettyjen nopea alkukehitys ilmeisesti joudutti myös tuleentumista. Koska tiivistys lisäsi sadettamattomien kasvustojen satoa, se tuskin pakkotuleennutti niitä.

Sadetus vaikutti puintikosteuteen enemmän kuin tiivistäminen (Kuvio 11, Liite 11). Se laski puintikosteutta vuosina 1986 ja 1989. Tämä johtui sadettamattomien koejäsenten voimakkaasta jälkiveronnasta ennen puintia. Vuonna 1988 kasvusto ei jälkiveronnut ennen puintia. Sadettamattomat koejäsenet kärsivät kuivuudesta ja tuleentuivat aikaisin. Sadetus sitävastoin pidensi kasvuaikaa ja nosti samalla puintikosteutta.

Tiivistäminen vaikutti merkittävästi ohran raakavalkuaispitoisuuteen vain viimeisenä koevuonna. Tuolloin 300 tnkm:n ajo vakiorenkain laski sitä (Liite 12). Aiemmissä tutkimuksissa maan tiivistäminen vaikutti viljan raakavalkuaispitoisuuteen vaihtelevasti. PHILLIPSIN ja KIRKHAMIN (1962) mukaan kyntökerroksen tiivistäminen laski sitä. Myös pohjamaan tiivistymä laski viljan raakavalkuaispitoisuutta (BERTRAND ja KOHNKE 1957, ALAKUKKU ja ELONEN 1989a). Edellisistä tuloksista poiketen kyntökerroksen tiivistymä ei vaikuttanut kevätvehnän raakavalkuaispitoisuuteen (SAARELA ym. 1988) ja kauran raakavalkuaispitoisuutta se jopa nosti (SCHUURMAN 1965).

Sadetus laski raakavalkuaispitoisuutta kaikkina koevuosina. Lukuun ottamatta vuotta 1987 se lisäsi satoa merkittävästi, mikä selittää koejäsenten välisen eron. Kentällä B sadetus viileänä ja sateisena kasvukautena 1987 ilmeisesti edesauttoi tyypin tappioita.

Tässä koeksessa tiivistäminen laski suhteellista tyypin- ja siemensatoa lähes yhtä paljon (Kuviot 9 ja 10). Tulos ei tukenut ALAKUKUN (1993) tuloksia, joiden mukaan tätä koetta voimakkaampi tiivistäminen laski suhteellisesti typpisatoa enemmän kuin siemensatoa. Tiivistäminen pienensi typpisatoa keskimäärin 6 %, vaikka kaikki koejäsenet saivat saman lannoituksen. Tiivistämisen vaikutus ei ollut kuitenkaan yleensä merkittävä (Liite 13). Tulosten suunta oli kuitenkin se, että tiivistäminen rajoitti kasvien tyypin saantia ja/tai aiheutti denitrifikaatiota. Tiivistäminen laski myös muissa kivennäismaiden koeksissa viljan typpisatoa (BERTRAND ja KOHNKE 1957, PHILLIPS ja KIRKHAM 1962, SCHUURMAN 1965, SAARELA ym. 1988), vaikka sen vaikutus typpipitoisuuteen vaihteli. Ajomäärän nostaminen (100–300 tnkm) lisäsi typpisatotappiota 3 %-yksikköä. Matalaprofiilirenkaiden käyttö ei pienentänyt typpisadon laskua.

Sadetus lisäsi typpisatoa samoina vuosina kuin satoakin (Liitteet 10 ja 13). Kenttien keskiarvona sadetus ei lieventänyt tiivistämisen aiheuttamia typpisatotappioita (Kuvio 9). Sateisena vuonna 1987 kentällä B se sitävastoin pienensi typpisatoa merkittävästi (Liite 13). Vuonna 1988 sadetus pienensi kevättiivistettyjen suhteellista typpisatoa verrattuna sadettamattomiin.

4 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten jokasyksyinen kuormien kuljetus vaikuttaa savimaan ja ohrasatoon. Siinä haettiin vastauksia kysymyksiin:

- kuinka syvälle 5 000 kg:n akselipaino tiivistä maan?
- lievensikö perävaunun rengaspaineen lasku tai alkukesän sadetus kuormituksen vaikutusta?
- aiheuttiko vuosittainen kuormitus ennen kyntöä kumuloituvaa jälkivaikutusta?

Maasta mitattiin lähinnä mekaanista vastusta, koska se oli huomattavasti nopeampi menetelmä kuin näytteenottoa vaativat mittaukset. Mekaanista vastusta mittaamalla voitiin tarkastella kaikkien koejäsenten vaikutusta maahan useana vuonna.

Lisäksi tiedettiin, että se oli herkempi tiivistyneisyyden mittari kuin esimerkiksi tilavuuspaino.

Kuormitus tiivisti savimaan 0,35 m:iin. Tiivistymisolosuhteet olivat otolliset kun pellolla ajettiin. Maa oli syvälle kosteaa, lähellä kenttäkapasiteettia, etenkin ensimmäisenä koevuonna. Kirjallisuuden mukaan tämä voimisti ja syvensi tiivistymää (BERTILSSON 1971, GAMEDA ym. 1987). Vaikka tiivistymä olisi ilmeisesti ollut kuivissa oloissa edellistä lievämpi, tulos on suomalaisen peltoviljelyn kannalta tärkeä. ALAKUKUN (1993) mukaan jankon ja pohjamaan tiivistymä ei hävinnyt Suomen oloissa yhdeksän vuoden aikana. Lisäksi sen mekaaninen kuohkeuttaminen oli epävarmaa ja kallista (ALAKUKKU ja ELONEN 1989b).

Tuloksen perusteella kostealla savimaalla ei saa ajaa 5 000 kg:n akselipainolla, jos jankko ei saa tiivistyä. Myös muiden tulosten mukaan akselipainon yläraja kostealla maalla ajattaessa on 4 000–6 000 kg (DANFORS 1974 ja 1994, VOORHEES ja LIDSTRÖM 1983, PETELKAU 1984, HÄKANSSON 1989). Teliakselipaino voi olla noin 2 000 kg edellistä suurempi (DANFORS 1974). Suomalaisessa peltoviljelyssä kriittisiä työvaiheita ovat edellisen perusteella lietelannan levitys, sadonkorjuu ja suurimpien traktorien osalta maanmuokkaus. Niihin on kehitettävä pitkällä tähtäyksellä nykyistä vähemmän maata kuormittavia menetelmiä ja koneita. Lähitulevaisuudessa tiivistämistä on vältettävä työskennellessä nykyisillä koneilla. Tämän hetkinen maatalouden tilanne ei edesauta uusien koneiden ja menetelmien leviämistä käytäntöön. Lisäksi tilojen konekanta on melko hyvä.

Aiempiä tuloksia tukien (HÄKANSSON 1979, KOGER ym. 1985, GAMEDA ym. 1987) ajomäärän lisääminen (100 → 300 tnkm/ha) voimisti tiivistymää. Satotappioita se ei sitävastoin lisännyt merkittävästi. Tämä poikkesi useiden muiden kokeiden tuloksista, joissa maa kynnettiin tiivistämisen jälkeen kuten tässäkin kokeessa (mm. HÄKANSSON ym. 1987, HÄKANSSON ym. 1988, ALAKUKKU ja ELONEN 1989a). Ilmeisesti lujassakin maassa oli kynnon ja roudan jälkeen mm. juurille kasvuväyliä.

Jo yksi ajokerta tiivisti jankkoa. Vuosien kuluessa kontrolloimaton raskas ajo voi tiivistää koko lohkon. Toisaalta pelkkä syvälle tiivistynyt salaojan suuntainen ajoura estää maanalaisen padon tavoin veden pääsyn ojaan. Raskas peltoliikenne on rajoitettava mahdollisimman vähäiseksi. Esimerkiksi kontrolloimaton viljakuormien kuljetus pellolla tulee lopettaa. Kalkitus yms. työt tulee tehdä maan ollessa syvälle kuivaa tai jäässä. Peltoajoa vähentää se, että veto- ja työkone mitoitetaan keskenään oikein, käytetään koneen koko työleveys hyväksi, yhdistetään työvaiheita ja joutoajon karsimiseksi tehdään tieltä lohkolle useita liittymiä. Säilörehun korjuussa hyötykuormaa lisää esikuivatus. Pakollinen raskas ajo kannattaa keskittää muutamille kiinteille salaojaan nähden kohtisuorille ajourille. Näin mahdollisimman pieni ala lohkosta tiivistyy syvälle.

Teoreettisen laskelman mukaan perävaunun matalaprofiilirenkaat (rengaspaineen lasku 350 → 150 kPa) pienensivät selvästi noin 0,3 m:n syvyyteen maassa levinnyttä jännitystä. Niiden käyttö ei kuitenkaan lieventänyt kyntökerroksen tiivistymää. Tulos vastasi van den OUWERKERKin ja van den NORDWIJKin (1991) kokemuksia ko. renkaiden käytöstä. Se ei kuitenkaan tukenut aiempia tuloksia rengaspaineen laskusta (TAYLOR ym. 1980, CAMPBELL ym. 1984, KOGER ym. 1985, LEBERT ja BURGER 1989). Edellisissä kokeissa maata tiivisti vain tutkittava rengas. Tässä kokeessa myös perävaunua vetänyt traktori tiivisti maata, mikä todennäköisesti pienensi perävaunun renkaiden välistä eroa. Sitä voi pienentää myös se, että matalaprofiilirengas tiivisti vakiorenkaita leveämmän alan. Todennäköisesti em. syistä matalaprofiilirenkaiden käyttö ei lieventänyt tiivistymisen aiheuttamia satotappioita. Tämä poikkesi HÄKANSSONin (1990) vastaavan kokeen tuloksista.

Matalaprofiilirenkaiden käyttö ei madaltanut tiivistymistä. Neljän kuormitusvuoden jälkeen tulokset viittasivat kuitenkin siihen, että se lievensi jankon tiivistymää. Tämä tuki CHAMENin ym:n (1990) tuloksia ko. renkaiden useampivuotisesta käytöstä. Matalaprofiilirenkaiden vaikutus olisi voinut olla merkittävä, jos niiden pintapaine olisi ollut pienempi. Mm. teoreettisen laskelman mukaan 50 kPa:n pintapaine kuormitti maata 0,4 m:iin selvästi vähemmän kuin käytetty 87 kPa:n paine.

Tiivistymistutkimusten yhteydessä on annettu suosituksia rengaspaineen ylärajaksi. ERIKSSONIN ym:n (1974) ja BOLLINGIN (1984) mukaan se ei saa ylittää 100 kPa. Kun ajetaan kostealla pellolla, se pitäisi kuitenkin olla edellistä pienempi: 50 kPa (DWYER 1983) tai 40 kPa (PERDOK ja TIJINK 1990). Rengaspaineen lasku 50 kPa:iin (matalaprofiilirenkain) kaikissa peltotöissä lisäsi HÄKANSSONIN (1990) mukaan viljasatoa 4 % tavalliseen rengasvarustukseen verrattuna. Rengaspaineen laskeminen esimerkiksi 100 kPa:iin kaikissa peltotöissä lisää kuitenkin rengaskustannuksia merkittävästi. Suurilla akselipainoilla se ei ole aina edes teknisesti mahdollista. Lisäksi koneilla tehdään työtä myös muualla kuin pellolla, mm. metsässä. Tämä asettaa omat vaatimuksensa rengasvarustukselle. Rengasratkaisujen taloudellisen kannattavuuden selvittäminen vaatisikin lisätutkimusta.

Toisaalta on muistettava, että rengasvarustuksen parantaminen ei eliminoi esimerkiksi sitä, että tehokas ojitus on tiivistymisriskin pienentämisen perusta. Kantava rengasvarustus voi jopa lisätä tiivistymistä, koska sillä työ pystytään tekemään märemmissä oloissa kuin kapeilla renkailla (CHAMEN ym. 1985).

Alkukesiltään kuivina kasvukausina sadetus lisäsi satoa keskimäärin 930–1 990 kg/ha. Se ei kuitenkaan lieventänyt tiivistymisen aiheuttamaa suhteellista sadon laskua. Keväällä tiivistettäessä se jopa lisäsi satotappioita. Tämä poikkesi aiemmista kevättiivistyskokeiden tuloksista (ELONEN 1980). Kevättiivistys hienonsi maata, mikä nopeutti itämistä kuivana keväänä. Ilmeisesti hitaasti itänyt tiivistämätön koejäsen hyötyi sadetuksesta tiivistettyjä enemmän.

Suhteellisen kevyen kevättiivistämisen vaikutus hävisi kyntökerroksesta Suomen oloissa seuraavaan kevääseen mennessä (ELONEN 1980, AURA 1983). Tässä kokeessa kynnöksen tiivistymä säilyi savimaassa vuoden kynnöstä, roudasta ja kasvukauden aikaisesta maan kuivumisesta huolimatta. Tämä vastasi LARPEKSEN (1962) ja VOORHEESIN

ym:n (1978) tuloksia. Toisena jälkivaikutusvuonna se ei enää vaikuttanut maan mekaaniseen vastukseen, mikä poikkesi HÄKANSSONIN (1990) vastaavan kokeen tuloksista. Jankon tiivistymä ei hävinnyt kahden jälkivaikutusvuoden aikana. Se voi olla hyvinkin pitkäikäinen. Muiden tulosten perusteella (BLAKE ym. 1976, ALAKUKKU 1993) jankon ja pohjamaan tiivistymä ei hävinnyt yhdeksän vuoden koejakson aikana.

Aiempien tiivistymis- (GAHEEN ja NJØS 1978, GAMEDA ym. 1987, CANARACHE ym. 1988) ja satotulosten (GAMEDA ym. 1987, HÄKANSSON ym. 1988) mukaan sama kuormitus tiivistä maata kumuloiduvasti. Vanha tiivistymä ei hävinnyt ennen uutta kuormitusta. Tämän tutkimuksen tulokset eivät tukeneet edellistä. Peräkkäiset syystiivistykset eivät lisänneet satotappioita vuosittain. Eivätkä ainakaan kolmas ja neljäs kuormitus voimistaneet kyntökerroksen tiivistymää. Sen alapuolella tulokset tosin viittasivat siihen, että koejäsenten väliset erot olivat suurentuneet ko. välillä. Tämä saattoi johtua kumuloidumisesta.

Tiivistämisen toiston vaikutusta maahan ei näiden tulosten perusteella täysin pystytty selvittämään, koska mittauksia ei tehty jokaisen kuormituksen jälkeen. Niiden alettua kahden kuormituksen jälkeen tiivistämisen vaikutus saattoi olla niin lievä, ettei sitä saatu mittauksissa esille. Lisäksi maa saattoi tiivistyä jo ensimmäisenä kuormitusyksynä mitattuun syvyyteen. Sen jälkeen kyntökerroksen alapuolella oli kuiva kerros, mikä todennäköisesti madalsi jännityksen kulkeutumista ja tiivistymää.

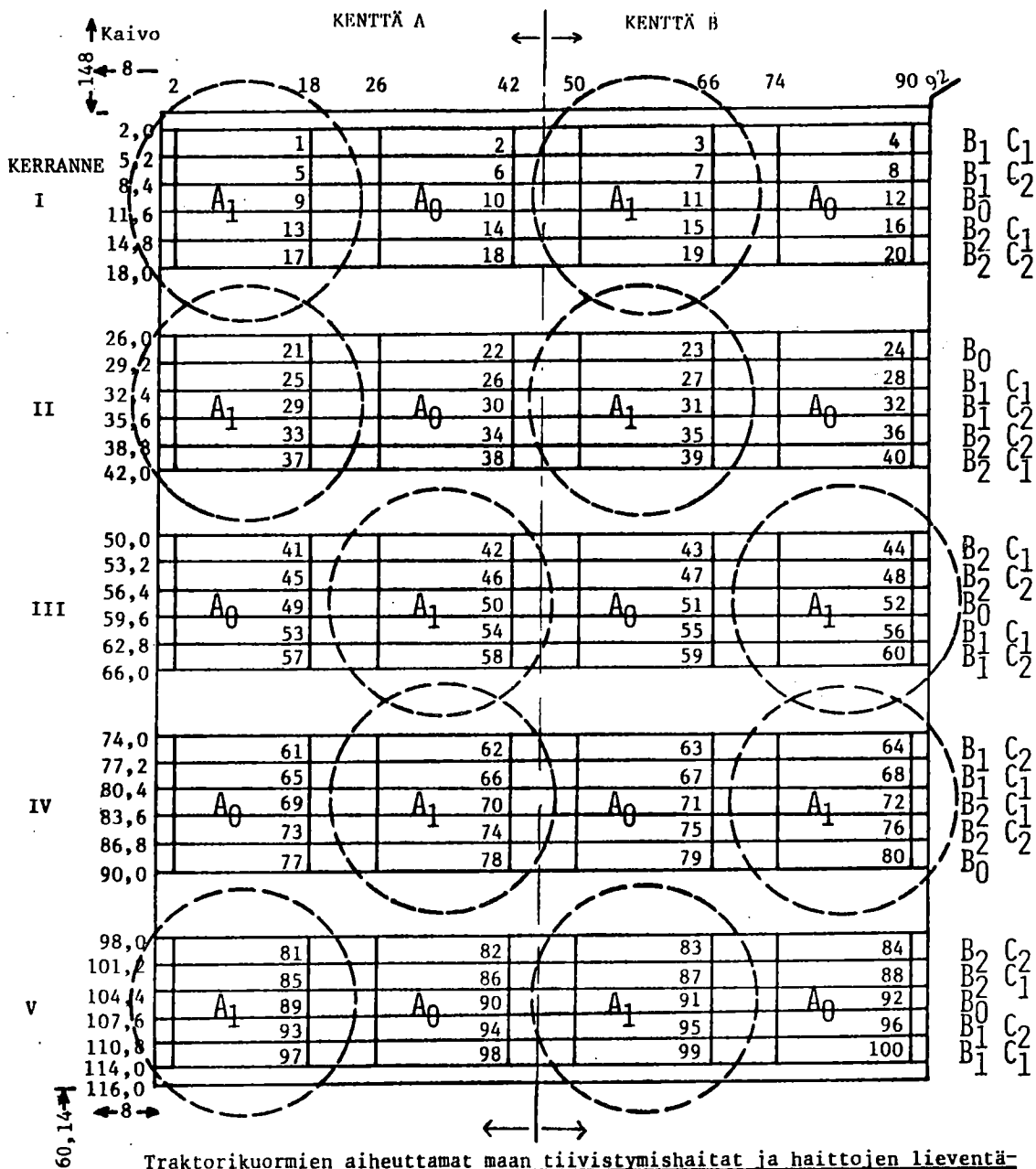
Tiivistymisestä huolimatta kenttien keskimääräiset sadot olivat hyviä. Vaikka maa oli mekaanisesti luja, kentän ojitus toimi ja ilmeisesti biohuokokset tarjosivat juurille kasvuväyliä. Lisäksi koetta viljeltiin kevyillä koneilla. Satovaikutukset olisivat todennäköisesti olleet suuremmat, jos kenttä olisi perustettu alkujaan huonorakenteisemmalle lohkolle ja peltotyöt olisi tehty raskaammalla kalustolla.

KIRJALLISUUS

- AKRAM, M. & KEMPER, W.D. 1979. Infiltration of soils as affected by the pressure and water content at the time of compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 1080–1086.
- ALAKUKKU, L. 1989. Raskaan akselikuormituksen aiheuttama maan tiivistyminen. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 13/89: 1–41.
- 1993. Raskaan peltoliikenteen aiheuttama maan tiivistyminen. *Lisensiaattityö*. Helsingin Yliopisto, Maa- ja kotitalousteknologian laitos, maatalousteknologia. 132 s.
- & ELONEN, P. 1989a. Raskaan akselikuormituksen jälkivaikutus peltokasvien satoon. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 13/89: 42–83.
- & ELONEN, P. 1989b. Tiiviin maan syväkuohkeutus. *Koetoin. ja Käyt.* 46: 49.
- ALLISON, L.E. 1969. Organic carbon. *Agronomy* 9: 1367–1378.
- ANDERSSON, G., PIDGEON, J.D., SPENCER, H.B. & PARKS, R. 1980. A new hand-held recording penetrometer for soil studies. *J. Soil Sci.* 31: 279–296.
- ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., NORDLUND, A. & PILLI-SIHVOLA, Y. 1985. Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1984. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 2/85: 1–127.
- AURA, E. 1983. Soil compaction by the tractor in spring and its effect on soil porosity. *J. Sci. Agric. Soc. Finland* 55: 91–107.
- BARRACLOUGH, P.B. & WEIR, A.H. 1988. Effect 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.
- BERTILSSON, G. 1971. Topsoil reaction to mechanical pressure. *Swedish J. Agric. Res.* 1: 181–189.
- BERTRAND, A.R. & KOHNKE, H. 1957. Subsoil conditions and their effects on oxygen supply and the growth of corn roots. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 21: 135–140.
- BLAKE, G.R., NELSON, W.W. & ALLMARAS, R.R. 1976. Persistence of subsoil compaction in a Mollisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 943–948.
- BOLLING, I. 1984. Bodenverdichtung und Bereifung bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen. *Landtechnik* 39: 449–452.
- 1987. Bodenverdichtung und Triebkraftverhalten bei Reifen — Neue Mess- und Rechenmethode. *Forsch.ber. Agrartechnik Arbeitskreises Forsch. und Lehre Max-Eyth-Ges.* 133: 1–274.
- CAMPBELL, D.J., DICKSON, J.W. & BALL, B.C. 1984. Effect of under-inflation of tractor tyres on seedbed compaction and winter barley establishment and yield. *J. Agric. Engng. Res.* 29: 151–158.
- 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 Int. Conf. ISTRO, 11–15th July, Edinburgh, Scotland* 1: 215–220.
- CHAMEN, W.C.T., CHITTEY, E.T., GEIKIE, E.T. & HOWSE, K.R. 1985. The effect of different tyre/soil contact pressures on soil and crop responses when growing winter wheat year 2. 1983–84. *Nat. Inst. Agric. Eng. Silsoe, DN 1296*: 1–43.
- , CHITTEY, E.T., LEEDE, P.R., GOSS, M.J. & HOWSE, K.R. 1990. The effect of tyre/soil contact pressure and zero traffic on soil and crop responses when growing winter wheat. *J. Agric. Engng. Res.* 47: 1–21.
- DANFORS, B. 1974. Packning i alven. *Jordbr.tekn. Inst. Specialmedd. S24*: 1–91.
- 1994. Changes in subsoil porosity caused by heavy vehicles. *Soil Tillage Res.* 29: 135–144.
- DOUGLAS, J.T., CAMPBELL, D.J. & CRAWFORD, C.E. 1992. Soil and crop responses to conventional, reduced ground pressure and zero traffic systems for grass silage production. *Soil Tillage Res.* 24: 421–439.
- DWYER, M.J. 1983. Soil dynamics and the problems of traction and compaction. *Agric. Eng.* 38: 62–68.
- EHLERS, W., KOPKE, U., HESSE, F. & BOHN, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loss soil. *Soil Tillage Res.* 3: 261–275.
- ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agr. Fenn.* 122: 1–122.
- 1980. Soil compaction — a severe problem in Finnish agriculture. *Sveriges Lantbr.univ. Rapp. Jordbearbetningsavd.* 60: 41–45.
- ERIKSSON, J., HÅKANSSON, I. & DANFORS, B. 1974. Jordpackning — markstruktur — gröda. *Medd. Jordbr.tekn. Inst.* 354: 1–82.
- FERGEDAL, L. 1971. Jordpackning med tractor vid olika tider för vårsädd. *Sveriges Lantbr.högsk. Rapp. Jordbearbetningsavd.* 26: 1–140.
- GAHEEN, S. & NJØS, A. 1978. Effect of tractor on timothy (*Phleum pratense* L.) root system in an experiment on loam soil. *Meld. Norges Landbr.høgsk.* 57(1): 1–8.
- GAMEDA, S., RAGHAVAN, G.S.V., MCKYES, E. & THERIAULT, R. 1987. Subsoil compaction in a clay soil. I. Cumulative effects. *Soil Tillage Res.* 10: 113–122.
- HEINONEN, R. 1960. A soil core sampler with provision for cutting successive layers. *J. Sci. Agric. Soc. Finland* 32: 176–178.
- HORN, R., BURGER, M., LEBERT, M. & BADEWITZ, G. 1987. Druckfortpflanzung in Böden unter langsam fahrenden Traktoren. *Z. f. Kulturtechnik Flurbereinigung* 28: 94–102.
- HÅKANSSON, I. 1979. Försök med jordpackningen vid hög axelbelastning. *Markundersökningar 1–2 år efter försökens åläggande. Sveriges Lantbr.univ. Rapp. Jordbearbetningsavd.* 57: 1–15.
- 1989. Jordpackningssituationen och bearbetningen. *Nord. Jordbr.forsk. Foren. Utredning/Rapp.* 56: 39–46.

- , VOORHEES, W.B., ELONEN, P., RAGHAVAN, G.S.V., LOWERY, B., WIJK, A.L.M. van, 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.
- , VOORHEES, W.B. & RILEY, H. 1988. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil Tillage Res.* 11: 239–324.
- Instruction manual bush recording soil penetrometer. 1987. Mark I model 1979. Findlay, Irvine ltd. Penicuik, Midlothian, Scotland. 53 s.
- JUUSELA, T. & WARE, M. 1956. Suomen peltojen kivi- ja vettä. *Soil- and Hydrotech. Res.* 8: 1–89.
- KOGER, J.L., BURT, E.C. & TROUSE, A.C. 1985. Multiple pass effects of skidder tires on soil compaction. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 28: 11–16.
- Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. 1985, 1986, 1987, 1988 ja 1989. Huhti–syyskuu. Ilmatieteen Laitoksen Julk. 72 s.
- LARPES, G. 1962. Painavien koneiden maata tiivistävän vaikutuksen merkitys kevätmuokkauksessa. *Maatal. Koetoim.* 16: 22–30.
- LEBERT, M. & BURGER, N. 1989. Effects of dynamic and static loading on compaction of structured soils. *NATO ASI Series E: Applied Sci.* 172: 73–80.
- LIPIEC, J., KANIA, W. & TARKIEWICZ, S. 1990. Effect of wheeling on physical characteristics of soils and rooting of some cereals. *Zesz. Probl. Postepow Naukroln.* 385: 105–114.
- MARTI, M. 1983. Effects of soil compaction and lime on yields and soil parameters on three silty clay loam soils in south eastern Norway. *Meld. Norges Landbr.høgsk.* 62(24): 1–28.
- McGUIRE, C.F. 1986. Quality evaluation of distillers' dried grain by near-infrared analysis. *Cereal Chem.* 63: 155–159.
- MEREDITH, H.L. & PATRICK, W.H. 1961. Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. *Agronomy J.* 53: 163–167.
- MILLIKEN, G.A. & JOHNSON, D.E. 1984. Analysis of messey data. Volume I: Designed experiments. Van Nostrand Reinhold, New York. 473 s.
- MYLLYS, M. 1986. Huokosjakautuman vaikutus maan vedenläpäisevyyteen. Helsingin yliopisto, maanviljelyskemian ja -fysiikan laitos, pro gradu-työ. 77 s.
- OLSEN, H.J. 1990. Spaendinger og pakning i jord under belastning. *Nord. Jordbr.forkers Foren. Utredning/rapp.* 56: 25–31.
- OUIWERKERK, C. van. & NOORDWIJK, M. van. 1991. Effect of traffic intensity on soil structure and root development in a field experiment on a sandy clay loam soil in the Netherlands. *Proc. 12th Int. Conf. ISTRO, Nigeria.* s. 253–262.
- PERDOK, U.D. & TIJINK, F.G.J. 1990. Developments in IMAG research on mechanization in soil tillage and field traffic. *Soil Tillage Res.* 16: 121–141.
- PETELKAU, H. 1984. Effects of harmful compaction on soil properties and crop yields and measures to reduce compaction. *Akad. Landwirtsch. - Wiss. DDR, Berlin, Tagungsber.* 227: 25–34.
- PHILLIPS, R.E. & KIRKHAM, D. 1962. Soil compaction in the fiels and corn growth. *Agronomy J.* 54: 29–34.
- PIETOLA, L. 1987. Maan mekaaninen vastus kasvutekijänä. *Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote* 24/87: 1–96.
- PITKÄNEN, J. 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 21/88: 62–166.
- SAARELA, I., KÖYLJÄRVI, J., SIMOJOKI, P. & VIRRI, K. 1988. Toukotöiden aiheuttaman maan tiivistymisen vaikutus viljasadon määrään ja laatuun. *Koetoim. ja Käyt.* 45: 11.
- SAS/stat user's guide. CLM-Varcomp.1990. Version 6. 4th Ed. SAS Institute Inc. Sas circle box 8000 Cary, NC 27512–8000. Vol. 2: 891–1686.
- SCHUURMAN, J.J. 1965. Influence of soil density on root development and growth of oats. *Pl. Soil* 22: 352–374.
- SIPPOLA, J. 1982. A comparison between a dry-combustion method and a rapid wet-combustion method for determining soil organic carbon. *Ann. Agric. Fenn.* 21: 146–148.
- SMITH, D.L.O. & DICKSON, J.W. 1990. Contributions of vehicle weight and ground pressure to soil compaction. *J. Agric. Engng. Res.* 46: 13–29.
- SOMMER, C. 1976. Über die Verdichtungsempfindlichkeit von Ackerböden. *Grundl. Landtechnik* 26: 14–23.
- SPSS-X User's guide. 1988. 3rd Ed. Spss Inc. 44N. Michigan Avenue Chicago, Illinois 60611. 1072 s.
- STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2nd Ed. McGraw-Hill Int. Edit. Statistics Series. 633 s.
- SÖHNE, W. 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. Am. Soc. Agric. Eng.* 23: 568–570.
- TIIRI, J. 1991. Muokkauksen vaikutus maan toimintoihin. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 11/91: 1–82.
- VERMEULEN, G.D. 1991. Top soil and crop responses to a low ground pressure farming system on a marine loam soil in the Netherlands. *Proc 12th Int. Conf. ISTRO, Nigeria.* s. 263–271.
- VOORHEES, W.B. & LIDSTROM, M.J. 1983. Soil compaction constraints on conservation tillage in the northern corn belt. *J. Soil Water Conservation* 38: 307–311.
- , NELSON, W.W. & RANDALL, G.W. 1986. Extent and persistence of subsoil compaction caused by heavy axle loads. *Soil Sci. Soc. Am. 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. Am. J.* 42: 344–349.
- WETZEL, D.L. 1983. Near-infrared reflectance analysis. *Anal. Chem.* 55: 1165a–1176a.

Liite 1. Kenttäkoekartta, jonka mukaan koe toteutettiin.



Traktorikuormien aiheuttamat maan tiivistymishaitat ja haittojen lieventämismahdollisuudet (1986-1989)

- A. Sadetus kuivakautena kesällä
 A₀ = ilman sadetusta
 (A₁) = sadetus 1-2 kertaa kesäkuussa

- B. Maata tiivistävän syyssajon määrä
 B₀ = ilman ajoa
 B₁ = 100 tnkm traktorilla perävaunukuormineen
 B₂ = 300 tnkm traktorilla perävaunukuormineen

- C. Traktorin perävaunun renkasvarustus
 C₁ = matalaprofiilirenkaat
 C₂ = vakioirenkaat

Kenttäkoekartan laatinut P. Elonen

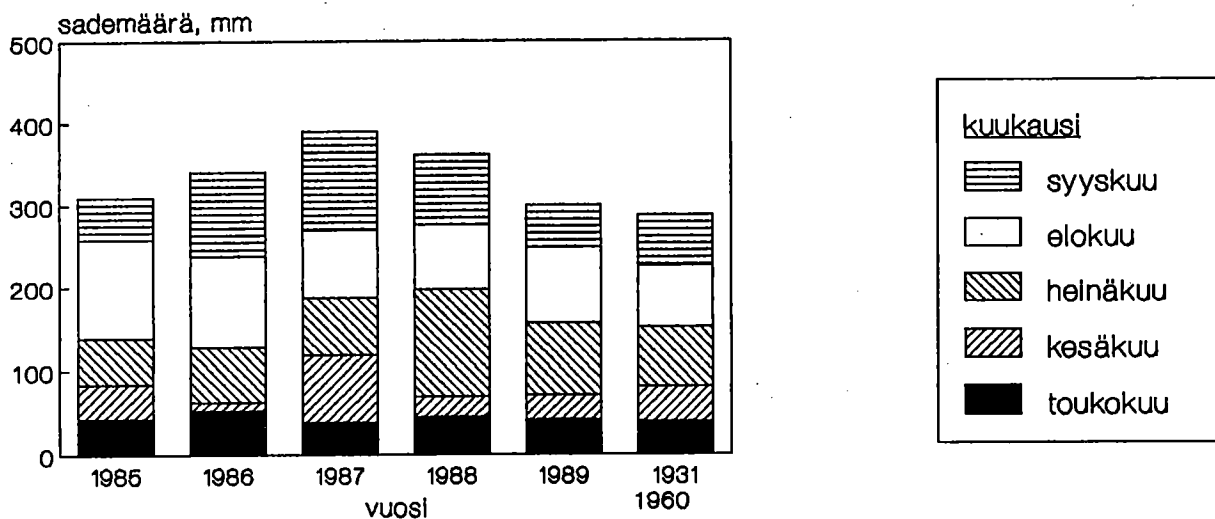
Liite 2. Kokeiden hoidossa käytettyjen koneiden teknisiä tietoja.

	Valmet 602 T4	Ford 5000	Sampo 25	MF 8
Moottorin teho, kW	48	44	38	41
Massa, kg	2940	2520	3500	2700
Akselipaino etu, kg taka, kg	1190 1720	905 1615	2300 1200	
Eturenkaat Takarenkaat	11,2-24 16,9-36	7,5-16 13,6-36	14,9-24 8,5-12	12,4-20 6,5-16
Rengaspaine etu, kPa taka, kPa	110 100	120 100	120 40	120 140
Käyttö	muokkaus	muut työt	puinti	puinti

Liite 3. Kasvukauden säätietoja tutkimusvuosina.

Sademäärä, mm

(Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1985, 1986, 1987, 1988, 1989)



Liite 3. jatkuu.

Sadannanvajaus Jokioisissa, mm

Laskettiin ANSALEHDON ym:n (1985) mukaan. Mittaustulokset laskettiin Ilmatieteen laitoksella Jokioisten observatorion mittausten pohjalta.

Kuukausi	VUOSI				
	1985	1986	1987	1988	1989
Toukokuu	18,2	0,5	10,5	28,8	28,8
Kesäkuu	39,8	121,6	-21,3	78,7	86,0
Heinäkuu	37,8	35,1	52,1	-5,3	41,4
yhteensä	95,8	157,2	41,3	102,2	156,2

Keskilämpötila, °C

(Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1985, 1986, 1987, 1988, 1989)

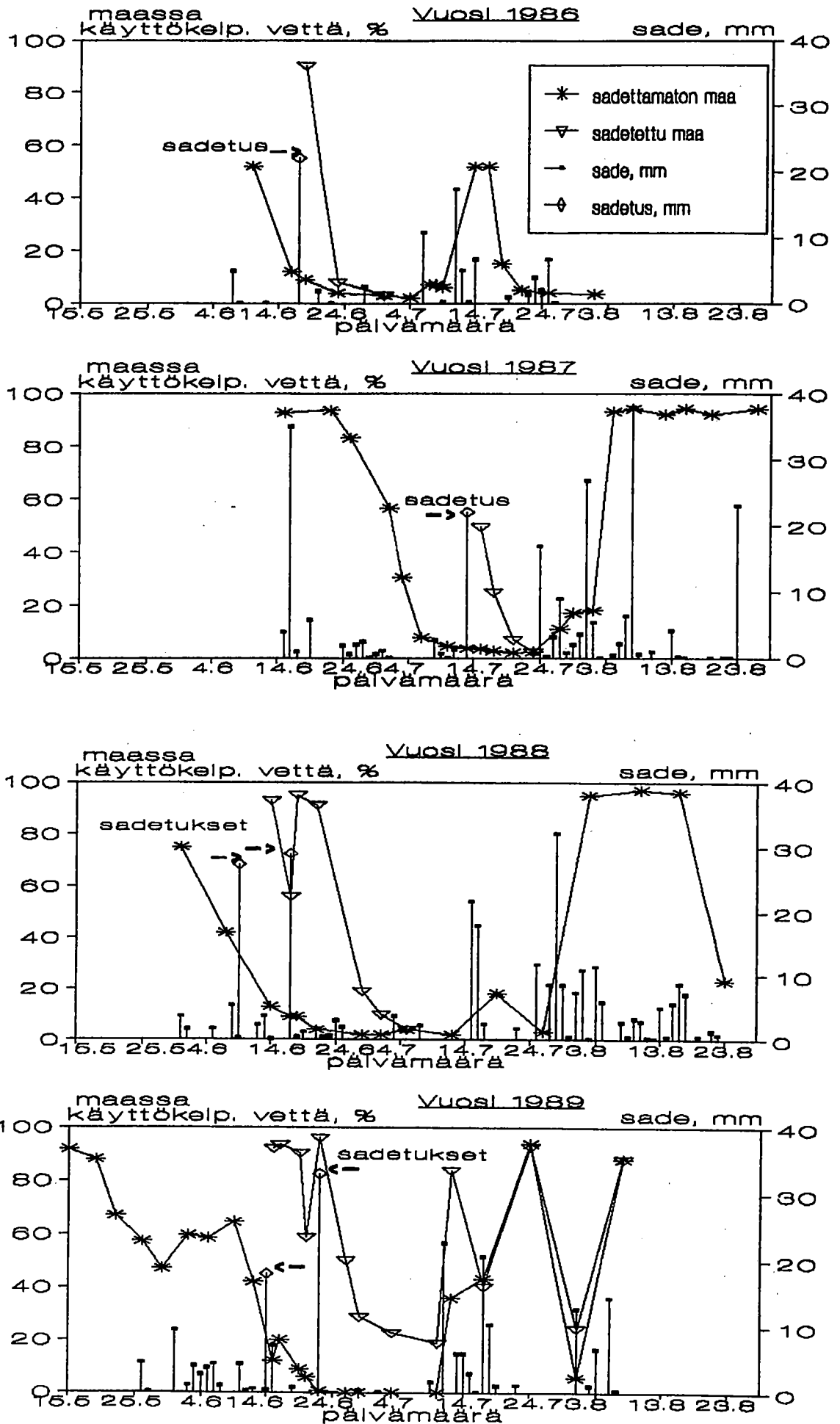
Kuukausi	VUOSI					VERRANNE 1931-60
	1985	1986	1987	1988	1989	
Toukokuu	8,6	10,5	7,6	11,4	10,4	8,8
Kesäkuu	13,2	16,3	12,1	16,5	13,4	13,8
Heinäkuu	15,3	16,2	14,8	19,0	16,3	16,2
Elokuu	15,5	12,9	11,7	14,1	13,9	14,7
Syyskuu	8,9	6,4	8,4	10,8	11,0	9,7
ka.	12,3	12,5	10,9	14,4	13,4	12,6

Roudan maksimisyvyys, cm

Tulokset nurmelta Ilmatieteen laitoksen Jokioisten observatorion mittauksia ja kynnöksen osalta vuosina 1985 - 1987 kasvinviljelyn tutkimusalan säähavaintokentältä ja muut MKF:n omia mittauksia.

	1985 /86	1986 /87	1987 /88	1988 /89	1989 /90
nurmi	52	105	26	21	7
kynnös	56	104		47	26

Liite 4. Maan kosteus (% hyötykapasiteetista) sekä sade- ja sadetus määrät Jokioisten koekentällä kasvukausina 1986-89. Sademäärät Ilmatieteen laitoksen Jokioisten observatorion mittauksia (Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon 1986, 1987, 1988, 1989).



Liite 5. Maan kosteus syksyllä 1989 mekaanista vastusta mitattaessa. Mikäli koejäsenten yläindeksissä ei ole samaa kirjainta, niiden välillä on tilastollisesti merkitsevä ero pienemmällä kuin 5 %:n riskitasolla Fisherin LSD-testillä laskettuna. ka. = keskiarvo.

Syvyys, m	Sade	Maan kosteus, % kuivapainosta						P _{hav}
		B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka-A	
0,03- 0,08	A ₀	33,2	35,2	34,8	33,6	33,9	34,1	ns
	A ₁	34,8	34,5	35,0	34,5	33,5	34,4	
	ka-BC	34,0	34,8	34,9	34,0	33,7		ns
0,08- 0,13	A ₀	32,2	34,4	33,8	33,2	33,5	33,4	ns
	A ₁	34,1	34,5	33,8	34,0	32,3	33,7	
	ka-BC	33,1 ^a	34,4 ^b	33,8 ^{ab}	33,6 ^{ab}	32,9 ^a		0,04
0,13- 0,18	A ₀	31,7	34,0	33,0	32,4	33,1	32,8	ns
	A ₁	33,3	34,3	33,7	33,7	31,5	33,3	
	ka-BC	32,5 ^{ac}	34,2 ^b	33,3 ^{ab}	33,0 ^{ac}	32,3 ^c		0,01
0,18- 0,23	A ₀	32,4	33,6	33,0	32,6	33,2	32,9 ^a	0,03
	A ₁	33,5	34,2	34,7	34,0	32,4	33,8 ^b	
	ka-BC	32,9 ^a	33,0 ^b	33,9 ^b	33,3 ^{ab}	32,8 ^a		0,01
0,23- 0,28	A ₀	32,0	33,1	32,3	33,2	32,1	32,5	ns
	A ₁	34,3	33,1	34,6	34,3	31,8	33,6	
	ka-BC	33,2	33,1	33,5	33,7	32,0		ns
0,28- 0,33	A ₀	30,3	29,5	29,0	30,8	29,0	29,7 ^a	0,03
	A ₁	31,8	31,5	31,5	31,8	29,8	31,3 ^b	
	ka-BC	31,1 ^a	30,5 ^{ab}	30,2 ^{ab}	31,3 ^a	29,4 ^b		0,04
0,33- 0,38	A ₀	27,8	28,9	28,3	30,5	28,4	28,8 ^a	0,02
	A ₁	30,4	30,7	29,9	30,0	29,5	30,1 ^b	
	ka-BC	29,1 ^{ac}	29,8 ^{ab}	29,1 ^{ac}	30,3 ^b	29,0 ^c		0,01
0,38- 0,42	A ₀	28,9	29,0	29,2	29,0	29,2	29,1	ns
	A ₁	29,4	29,2	29,0	29,3	29,5	29,3	
	ka-BC	29,2	29,1	29,1	29,2	29,4		ns
0,42- 0,47	A ₀	30,5	29,7	30,2	30,0	30,5	30,2	ns
	A ₁	30,1	30,1	29,6	30,5	29,7	30,0	
	ka-BC	30,3	29,9	29,9	30,3	30,0		ns

A₀ = sadettamaton, A₁ = sadetettu
 B₀ = tiivistämätön, B₁ = 100 ja B₂ = 300 tnkm/ha tiivistys,
 C₁ = perävaunussa matalaprofiirenkaat, C₂ = vakiorenkaat
 P_{hav} = varianssianalyysin merkitsevyystaso

Liite 6. Maan mekaaninen vastus syksyllä 1987 kentillä A ja B. Lyhenteet liitteessä 5. Ajomäärää tai renkaita verrattiin tiivistämättömään. Mitattaessa maan kosteus oli lähellä kenttäkapasiteettia.

Kenttä A Syvyys, m	Maan mekaaninen vastus, MPa										Phav
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	B ₁ B ₂ ajomäärä		C ₁ C ₂ renkaat			
0,03	0,16	0,18	0,18	0,16	0,16	0,18	0,16	0,17	0,17	ns	
0,07	0,30	0,38	0,35	0,41	0,36	0,37	0,38	0,40	0,35	ns	
0,10	0,53 ^a	0,82 ^{bc}	0,69 ^{ab}	0,88 ^c	0,81 ^{bc}	0,75 ^b	0,84 ^b	0,85 ^b	0,75 ^b	0,01	
0,14	0,77 ^a	0,93 ^{ab}	0,81 ^a	1,05 ^b	1,04 ^b	0,87 ^a	1,05 ^b	0,99 ^b	0,93 ^b	0,01	
0,18	0,86	1,07	0,94	1,05	1,04	1,01	1,05	1,06	0,99	ns	
0,21	0,84	0,94	0,96	1,07	1,01	0,96	1,04	1,01	0,99	ns	
0,25	0,96	1,00	0,99	1,08	1,04	0,99	1,06	1,04	1,01	ns	
0,28	1,55	1,79	1,55	1,95	1,92	1,67	1,94	1,87	1,73	ns	
0,32	1,68 ^a	2,08 ^b	2,18 ^b	2,28 ^b	2,01 ^b	2,13 ^b	2,15 ^b	2,18 ^b	2,10 ^b	0,01	
0,35	1,78	2,02	1,91	2,05	1,81	1,97	1,93	2,04	1,86	ns	
0,39	1,56	1,73	1,73	1,85	1,60	1,73	1,73	1,79	1,67	ns	
0,42	1,59	1,67	1,65	1,73	1,68	1,66	1,70	1,70	1,66	ns	
0,46	1,58 ^a	1,65 ^a	1,60 ^a	1,78 ^b	1,65 ^a	1,62 ^a	1,71 ^b	1,71 ^b	1,62 ^a	0,02	
0,49	1,65	1,72	1,65	1,80	1,73	1,68	1,76	1,76	1,65	ns	
0,52	1,73 ^a	1,80 ^{ab}	1,73 ^a	1,92 ^b	1,77 ^a	1,76 ^{ab}	1,84 ^b	1,86 ^b	1,75 ^a	0,03	
Kenttä B											
0,03	0,18	0,17	0,15	0,18	0,16	0,16	0,17	0,17	0,16	ns	
0,07	0,34	0,37	0,34	0,32	0,35	0,35	0,34	0,34	0,35	ns	
0,10	0,67 ^a	0,67 ^a	0,82 ^{ab}	0,95 ^b	0,90 ^b	0,75 ^a	0,93 ^b	0,82 ^{ab}	0,86 ^b	0,01	
0,14	0,79	0,94	0,99	1,05	0,95	0,96	1,00	0,99	0,97	ns	
0,18	0,87	1,04	1,01	0,94	0,92	1,02	0,93	0,99	0,97	ns	
0,21	0,90	0,94	1,04	0,91	0,98	0,99	0,94	0,92	1,01	ns	
0,25	1,02	1,00	1,09	0,97	1,27	1,04	1,12	0,98	1,18	ns	
0,28	1,56	1,79	1,84	2,00	2,12	1,82	2,06	1,89	1,98	(0,08)	
0,32	1,97	2,03	1,95	2,07	2,15	1,99	2,11	2,05	2,05	ns	
0,35	1,91	2,03	1,91	1,93	1,91	1,97	1,92	1,98	1,91	ns	
0,39	1,86	1,85	1,88	1,67	1,82	1,87	1,75	1,76	1,85	ns	
0,42	1,69	1,74	1,86	1,62	1,81	1,80	1,72	1,68	1,84	ns	
0,46	1,58	1,75	1,91	1,67	1,74	1,83	1,70	1,71	1,83	ns	
0,49	1,64	1,71	1,86	1,73	1,77	1,79	1,75	1,72	1,81	ns	
0,52	1,70	1,77	1,85	1,80	1,93	1,81	1,86	1,78	1,89	ns	

Liite 8. Maan mekaaninen vastus syksyllä 1990 kentällä B kerranteissa I - IV. Lyhenteet liitteessä 5. Mitattaessa maan kosteus oli lähellä kenttäkapasiteettia.

Syvyys m	Maan mekaaninen vastus, MPa								Phav	
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	B ₁ ajomäärä	B ₂	C ₁ renkaat		C ₂
0,03	0,29	0,28	0,27	0,27	0,26	0,27	0,26	0,27	0,26	ns
0,07	0,40	0,40	0,42	0,43	0,38	0,41	0,40	0,41	0,40	ns
0,10	0,66	0,64	0,71	0,74	0,66	0,67	0,70	0,69	0,68	ns
0,14	0,74	0,77	0,83	0,88	0,75	0,80	0,81	0,82	0,79	ns
0,18	0,87	0,84	0,86	0,92	0,83	0,85	0,86	0,88	0,84	ns
0,21	0,90	0,90	0,90	1,01	0,87	0,90	0,94	0,95	0,89	ns
0,25	1,08 ^a	1,08 ^a	1,30 ^b	1,34 ^c	1,32 ^{bc}	1,19 ^a	1,33 ^b	1,21 ^b	1,31 ^b	0,00
0,28	1,99 ^a	2,21 ^a	2,55 ^b	2,53 ^b	2,85 ^c	2,38 ^b	2,69 ^c	2,37 ^b	2,70 ^c	0,00
0,32	2,70	2,64	2,87	2,87	3,21	2,75	3,04	2,75	3,04	ns
0,35	2,76	2,44	2,56	2,68	2,98	2,50	2,83	2,56	2,77	ns
0,39	2,47	2,20	2,31	2,28	2,47	2,25	2,38	2,24	2,39	ns
0,42	2,20	1,97	2,07	2,05	2,13	2,02	2,09	2,01	2,10	ns
0,46	2,01	1,93	1,98	1,96	1,99	1,96	1,98	1,95	1,98	ns
0,49	1,96	1,91	1,97	1,91	1,91	1,94	1,91	1,91	1,94	ns
0,52	1,87	1,87	1,94	1,82	1,87	1,91	1,85	1,85	1,91	ns

Liite 9. Maan tilavuuspaino syksyllä 1989 kentällä A kerranteissa I - IV. Lyhenteet liitteessä 5.

Syvyys, m	Maan tilavuuspaino, kg/m ³								Phav	
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	B ₁ ajomäärä	B ₂	C ₁ renkaat		C ₂
0,03-0,08	1063	997	1047	1057	1039	1022	1048	1027	1043	ns
0,08-0,13	1192	1206	1219	1207	1203	1212	1205	1207	1211	ns
0,13-0,18	1204	1176	1168	1229	1211	1172	1220	1203	1190	ns
0,18-0,23	1214	1213	1244	1223	1233	1229	1228	1218	1239	ns
0,23-0,28	1211	1223	1247	1228	1303	1235	1266	1226	1275	ns
0,28-0,33	1294	1335	1348	1358	1425	1341	1392	1347	1387	ns
0,33-0,38	1375	1366	1364	1346	1416	1364	1381	1356	1390	ns
0,38-0,43	1358	1346	1336	1332	1374	1341	1353	1339	1355	ns
0,43-0,48	1358	1349	1362	1349	1384	1349	1367	1349	1373	ns

Liite 10. Ohran hehtaarisato. Lyhenteet liitteessä 5.
Yhdysvaikutustermit testattiin kiinteällä A:n tasolla.

Sadetus	Ohran sato vuonna 1986, kg/ha, kenttä A						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	P _{hav}
A ₀	4390	3930	3870	3970	3780	3990 ^a	0,00
A ₁	5290	4860	4930	4870	4690	4930 ^b	
ka _{BC}	4840 ^a	4390 ^b	4400 ^b	4420 ^b	4230 ^b	0,03	
ka _B	4840 ^a	4400 ^b		4330 ^b			
ka _C	4840 ^a	4410 ^b	4320 ^b				
Ohran sato vuonna 1987, kg/ha, kenttä A							
A ₀	5350 ^a	5270 ^a	5390 ^a	5080 ^b	5070 ^b	5230	ns
ka _B	5350 ^a		5070 ^b				
A ₁	5330 ^a	5060 ^b	5490 ^a	5370 ^a	5360 ^a	5320	
ka _{BC}	5340	5170	5440	5220	5210	P _{havAB} 0,04	
ka _B	5340	5300		5220			
ka _C	5340	5190	5330				
Ohran sato vuonna 1988, kg/ha, kenttä A							
A ₀	2470 ^a	2270 ^b	2660 ^c	2340 ^b	2590 ^c	2470 ^a	0,00
ka _C	2470 ^{ab}	2300 ^a	2630 ^b				
A ₁	4620 ^{ac}	4520 ^a	4680 ^c	4200 ^b	4410 ^b	4490 ^a	
ka _B	4620 ^a	4600 ^a		4300 ^b			
ka _C	4620 ^a	4360 ^b	4540 ^a				
ka _{BC}	3550	3390	3670	3270	3500	P _{havAB} 0,01	
ka _B	3550	3530		3390			
ka _C	3550	3330	3590				
Ohran sato vuonna 1989, kg/ha, kenttä A							
A ₀	2760	2550	2530	2470	2520	2570 ^a	0,01
A ₁	4410	4330	4310	4310	4310	4330 ^b	
ka _{BC}	3580	3440	3420	3390	3410	ns	
ka _B	3580	3430		3400			
ka _C	3580	3420	3420				
Sato keskimäärin v. 1986-89, kg/ha, kenttä A							
A ₀	3740	3500	3610	3470	3490	3570	
A ₁	4910	4690	4850	4690	4690	4770	
ka _{BC}	4330	4100	4230	4080	4090		
ka _B	4330	4160		4080			
ka _C	4330	4090	4160				

Sadetus	Ohran sato vuonna 1986, kg/ha kenttä B						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	P _{hav}
A ₀	4390	4020	4130	3890	3780	4040 ^a	0,02
A ₁	5360	4940	4920	4790	4760	4950 ^b	
ka _{BC}	4870 ^a	4480 ^b	4530 ^b	4340 ^b	4270 ^b	0,00	
ka _B	4870 ^a	4500 ^b		4310 ^c			
ka _C	4870 ^a	4410 ^b	4400 ^b				
Ohran sato vuonna 1987, kg/ha, kenttä B							
A ₀	5250	5300	5310	5150	5120	5230	ns
ka _B	5230						
A ₁	5450	5100	5110	5110	5010	5150	
ka _{BC}	5350	5200	5210	5130	5060	ns	
ka _B	5350	5210		5100			
ka _C	5350	5170	5140				
Ohran sato vuonna 1988, kg/ha, kenttä B							
A ₀	2380	2110	2550	2240	2620	2380 ^a	0,00
ka _C	2380 ^a						
A ₁	4570	4320	4430	4050	4130	4300 ^b	
ka _B	4300 ^b						
ka _C	4300 ^b						
ka _{BC}	3480 ^a	3220 ^{bc}	3490 ^a	3150 ^b	3380 ^{ac}	0,01	
ka _B	3480 ^a	3350 ^{ab}		3260 ^b			
ka _C	3480 ^a	3190 ^b	3490 ^a				
Ohran sato vuonna 1989, kg/ha, kenttä B							
A ₀	2730	2550	2730	2760	2620	2680 ^a	0,01
A ₁	4820	4650	4530	4510	4560	4620 ^b	
ka _{BC}	3770	3600	3630	3630	3590	ns	
ka _B	3770	3620		3610			
ka _C	3770	3620	3610				
Sato keskimäärin v. 1986-89, kg/ha, kenttä B							
A ₀	3690	3500	3680	3510	3540	3580	
A ₁	5050	4750	4750	4620	4620	4760	
ka _{BC}	4370	4120	4210	4060	4080		
ka _B	4370	4160		4070			
ka _C	4370	4090	4140				

Huom: C₂ koejäsenet tiivistettiin keväällä 1988. Ohra lakoontui vuonna 1987

Liite 11. Ohran puintikosteus. Lyhenteet liitteessä 10.

Sadetus	Puintikosteus vuonna 1986, %, kenttä A						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	Phav
A ₀	36,4	36,3	37,2	35,5	36,8	36,4 ^a	0,01
A ₁	32,1	32,5	32,2	31,7	32,0	32,1 ^b	
ka _{BC}	34,3	34,4	34,7	33,6	34,4	ns	
ka _B	34,3	34,6		34,0			
ka _C	34,3	34,0	34,5				
A ₀	Puintikosteus vuonna 1987, %, kenttä A						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	Phav
A ₀	45,6	45,3	45,6	45,3	44,9	45,3	ns
A ₁	44,9	47,6	45,2	44,9	44,4	45,4	
ka _{BC}	45,2	46,5	45,4	45,1	44,6	ns	
ka _B	45,2	45,9		44,9			
ka _C	45,2	45,8	45,0				
A ₀	Puintikosteus vuonna 1988, %, kenttä A						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	Phav
ka _C	20,8	20,6	19,1	19,5	18,2	19,6	(0,08)
A ₁	23,4	22,7	21,1	22,5	19,6	21,9	
ka _{BC}	22,1 ^a	21,7 ^a	20,1 ^{bc}	21,0 ^{ab}	18,9 ^c	0,00	
ka _B	22,1 ^a	20,9 ^b		19,9 ^c			
ka _C	22,1 ^a	21,3 ^a	19,5 ^b				
A ₀	Puintikosteus vuonna 1989, %, kenttä A						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	Phav
A ₀	35,1	35,6	35,9	35,9	35,3	35,6 ^a	0,00
A ₁	30,1	29,2	29,3	28,9	28,0	29,1 ^b	
ka _{BC}	32,6	32,4	32,6	32,4	31,6	ns	
ka _B	32,6	32,5		32,0			
ka _C	32,6	32,4	32,1				
A ₀	Puintikosteus keskimäärin, %, kenttä A						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	Phav
A ₀	34,5	34,5	34,5	34,1	33,8	34,2	
A ₁	32,6	33,0	32,0	32,0	31,0	32,1	
ka _{BC}	33,6	33,7	33,2	33,0	32,4		
ka _B	33,6	33,5		32,7			
ka _C	33,6	33,4	32,8				

Sadetus	Puintikosteus vuonna 1986, %, kenttä B						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	Phav
A ₀	33,9	35,6	34,5	35,6	35,4	35,0 ^a	0,02
A ₁	31,3	31,8	31,5	32,0	31,8	31,7 ^b	
ka _{BC}	32,6	33,7	33,0	33,8	33,6	ns	
ka _B	32,6	33,3		33,7			
ka _C	32,6	33,8	33,3				
A ₀	Puintikosteus vuonna 1987, %, kenttä B						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	Phav
A ₀	45,3	45,3	44,6	44,8	44,4	44,9	(0,08)
A ₁	41,5	44,0	43,6	44,2	43,5	43,5	
ka _{BC}	43,4	44,7	44,1	44,5	43,9	ns	
ka _B	43,4	44,4		44,2			
ka _C	43,4	44,6	44,0				
A ₀	Puintikosteus vuonna 1988, %, kenttä B						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	Phav
ka _C	20,0 ^a	19,2 ^b	18,9 ^b	19,9 ^b	18,6 ^b	19,3 ^a	0,01
A ₁	20,0 ^a	19,2 ^{ab}		18,7 ^b		22,1 ^b	
ka _{BC}	23,6 ^a	23,2 ^a	21,2 ^b	22,9 ^a	19,6 ^c	PhavAB 0,00	
ka _B	23,6 ^a	22,2 ^a		21,3 ^b			
ka _C	23,6 ^a	23,0 ^b	20,4 ^c				
ka _{BC}	21,8	21,2	20,0	21,4	19,1	0,00	
ka _B	21,8	20,6		20,2			
ka _C	21,8	21,3	19,5				
A ₀	Puintikosteus vuonna 1989, %, kenttä B						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	Phav
A ₀	36,6	37,6	35,7	35,1	35,5	36,1 ^a	0,03
A ₁	30,0	29,2	29,7	29,4	27,9	29,2 ^b	
ka _{BC}	33,3	33,4	32,7	32,3	31,7	(0,06)	
ka _B	33,3	33,1		32,0			
ka _C	33,3	32,8	32,5				
A ₀	Puintikosteus keskimäärin, %, kenttä B						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	Phav
A ₀	34,0	34,4	33,4	33,9	33,5	33,8	
A ₁	31,6	32,1	31,5	32,1	30,7	31,6	
ka _{BC}	32,8	33,2	32,5	33,0	32,1		
ka _B	32,8	33,4		32,5			
ka _C	32,8	33,1	32,3				

Huom: C₂ koejäsenet tiivistettiin keväällä vuonna 1988. Ohra lakoontui vuonna 1987

Liite 12. Ohran kuiva-aineen raakavalkuaispitoisuus. Lyhenteet liitteessä 11.

Sadetus	Raakavalkuaispitoisuus vuonna 1986, %, kenttä A						
	B ₀	B _{1C₁}	B _{1C₂}	B _{2C₁}	B _{2C₂}	ka _A	Phav
A ₀	15,1	14,8	15,1	14,5	14,8	14,8 ^a	0,00
A ₁	13,2	13,6	12,9	13,2	13,0	13,2 ^b	
ka _{BC}	14,1	14,2	14,0	13,9	13,9	ns	
ka _B	14,1	14,1	13,9				
ka _C	14,1	14,0	14,0				
	Raakavalkuaispitoisuus vuonna 1987, %, kenttä A						
A ₀	11,4	11,2	11,2	11,1	11,2	11,2	ns
A ₁	11,1	11,2	10,9	10,9	10,9	11,0	
ka _{BC}	11,3	11,2	11,1	11,0	11,1	ns	
ka _B	11,3	11,1	11,0				
ka _C	11,3	11,1	11,1				
	Raakavalkuaispitoisuus vuonna 1988, %, kenttä A						
A ₀	15,8	15,4	15,3	15,5	15,1	15,4 ^a	0,00
A ₁	13,8	13,5	13,4	13,7	13,2	13,5 ^b	
ka _{BC}	14,8	14,5	14,3	14,6	14,2	ns	
ka _B	14,8	14,4	14,4				
ka _C	14,8	14,6	14,2				
	Raakavalkuaispitoisuus vuonna 1989, %, kenttä A						
A ₀	16,2	16,6	15,9	16,3	16,2	16,2 ^a	0,00
A ₁	14,6	14,3	14,9	14,2	14,1	14,4 ^b	
ka _{BC}	15,4	15,4	15,4	15,2	15,1	ns	
ka _B	15,4	15,4	15,1				
ka _C	15,4	15,3	15,2				
	Raakavalkuaispitoisuus keskimäärin, %, kenttä A						
A ₀	14,6	14,5	14,4	14,4	14,3	14,4	
A ₁	13,2	13,2	13,0	13,0	12,8	13,0	
ka _{BC}	13,9	13,8	13,7	13,7	13,6		
ka _B	13,9	13,7	13,6				
ka _C	13,9	13,7	13,6				

Sadetus	Raakavalkuaispitoisuus vuonna 1986, %, kenttä B						
	B ₀	B _{1C₁}	B _{1C₂}	B _{2C₁}	B _{2C₂}	ka _A	Phav
A ₀	14,5	14,6	14,1	14,7	14,8	14,6 ^a	0,00
A ₁	12,4	12,3	12,6	12,3	12,6	12,4 ^b	
ka _{BC}	13,4	13,4	13,4	13,5	13,7	ns	
ka _B	13,4	13,4	13,6				
ka _C	13,4	13,4	13,5				
	Raakavalkuaispitoisuus vuonna 1987, %, kenttä B						
A ₀	11,3	11,4	11,1	11,1	11,0	11,2 ^a	0,01
A ₁	10,6	10,6	10,4	10,5	10,6	10,6 ^b	
ka _{BC}	10,9	11,0	10,8	10,8	10,8	ns	
ka _B	10,9	10,9	10,8				
ka _C	10,9	10,9	10,8				
	Raakavalkuaispitoisuus vuonna 1988, %, kenttä B						
A ₀	15,9	15,8	15,4	15,8	15,3	15,6 ^a	0,00
A ₁	12,8	13,2	12,7	13,4	13,4	13,0 ^b	
ka _{BC}	14,3	14,6	14,1	14,6	14,1	ns	
ka _B	14,3	14,3	14,3				
ka _C	14,3	14,6	14,1				
	Raakavalkuaispitoisuus vuonna 1989, %, kenttä B						
A ₀	16,2	16,8	16,2	16,1	16,1	16,2 ^a	0,01
A ₁	14,0	13,9	13,9	13,8	13,3	13,8 ^b	
ka _{BC}	15,2 ^{ac}	15,4 ^a	15,1 ^{ac}	14,9 ^{bc}	14,7 ^b	0,03	
ka _B	15,2 ^{ab}	15,2 ^a	14,8 ^b				
ka _C	15,2	15,1	14,9				
	Raakavalkuaispitoisuus keskimäärin, %, kenttä B						
A ₀	14,5	14,7	14,2	14,4	14,3	14,4	
A ₁	12,5	12,5	12,4	12,5	12,5	12,5	
ka _{BC}	13,5	13,6	13,3	13,5	13,4		
ka _B	13,5	13,4	13,4				
ka _C	13,5	13,5	13,3				

Huom: C₂ koejäsenet tiivistettiin keväällä 1988. Ohra lakoontui vuonna 1987

Liite 13. Ohran kuiva-ainesadossa korjattu typpisato.
 Typpilannoitus oli 110-120 kg N/ha. Lyhenteet liitteessä 11.

Sadetus	Typpisato vuonna 1986, kg N/ha, kenttä A						
	B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	P _{hav}
A ₀	90	79	79	78	75	80 ^a	0,01
A ₁	95	90	87	87	83	88 ^b	
ka _{BC}	92	84	83	83	79		ns
ka _B	92	83		81			
ka _C	92	83	81				
Typpisato vuonna 1987, kg N/ha, kenttä A							
A ₀	84	80	82	77	77	80	ns
A ₁	81	77	82	80	79	80	
ka _{BC}	82	79	82	78	78		ns
ka _B	82	80		78			
ka _C	82	78	80				
Typpisato vuonna 1988, kg N/ha, kenttä A							
A ₀	53 ^a	48 ^b	55 ^a	49 ^b	53 ^a	52 ^a	0,00
ka _C	53 ^a	48 ^b	54 ^a				
A ₁	86 ^a	83 ^b	82 ^{ab}	78 ^c	79 ^c	82 ^b	0,00
ka _B	86 ^a	84 ^a		79 ^b			
ka _C	86 ^a	80 ^b	82 ^b				
ka _{BC}	70	65	70	64	66		P _{havAB} 0,04
ka _B	70	67		65			
ka _C	70	64	68				
Typpisato vuonna 1989, kg N/ha, kenttä A							
A ₀	61	57	54	54	55	56 ^a	0,01
A ₁	87	84	88	84	82	85 ^b	
ka _{BC}	74	71	71	69	68		ns
ka _B	74	71		68			
ka _C	74	70	69				
Typpisato keskimäärin, kg N/ha, kenttä A							
A ₀	72	66	68	65	65	67	
A ₁	87	84	85	82	81	84	
ka _{BC}	80	75	76	73	73		
ka _B	80	75		73			
ka _C	80	74	75				

Typpisato vuonna 1986, kg N/ha, kenttä B							
B ₀	B ₁ C ₁	B ₁ C ₂	B ₂ C ₁	B ₂ C ₂	ka _A	P _{hav}	
86	80	79	77	76	80		ns
91	82	84	80	81	84		
88	81	82	79	78			ns
88	81		78				
88	80	80					
Typpisato vuonna 1987, kg N/ha, kenttä B							
81	82	80	78	77	80 ^a	0,03	
79	74	73	73	72	74 ^b		
80	78	76	75	74		ns	
80	77		74				
80	76	75					
Typpisato vuonna 1988, kg N/ha, kenttä B							
51	45	53	48	54	50 ^a	0,00	
79	78	76	74	73	76 ^b		
65	62	65	61	64		ns	
65	63		62				
65	61	64					
Typpisato vuonna 1989, kg N/ha, kenttä B							
59	58	60	59	57	58 ^a	0,02	
91	88	85	84	82	86 ^b		
75 ^a	73 ^{ab}	73 ^{ab}	71 ^{bc}	69 ^c		0,00	
75 ^a	73 ^b		70 ^c				
75 ^a	72 ^b	71 ^b					
Typpisato keskimäärin, kg N/ha, kenttä B							
69	66	68	66	66	67		
85	81	80	78	77	80		
77	73	74	72	72			
77	73		72				
77	73	73					

Huom: C₂ koejäsenet tiivistettiin keväällä 1988. Ohra lakoontui vuonna 1987

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUKSEN TIEDOTTEET

(Tiedotteet vuosilta 1983–90 on lueteltu aiempien vuosikertojen numeroissa.)

1991

2. MUSTONEN, L., RANTANEN, O., NIEMELÄINEN, O., PAHKALA, K. & KONTTURI, M. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1983–1990. 146 p. + 2 liitettä.
3. VILKKI, J. Kulta-kevätropsi. 20 p. + 1 liite.
4. KEMPPAINEN, E. & VUORINEN, M. Maanparannusaineiden vertailu kenttäkokeessa. (Sotkamon maanparannuskoe). 22 p.
5. YLÄRANTA, T. Maataloustuotannon vaikutus kasvihuoneilmioon Suomessa. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. 18 p.
6. HANNUKKALA, A. E. Puikulan viljelytekniikka Lapissa. 23 p.
7. URVAS, L. & HÄMÄLÄINEN, I. Viljeltyjen moreenimaiden kemialliset ominaisuudet. Kirjallisuuskatsaus. 28 p.
8. JUHANOJA, S. Freesian sadon ajoittaminen. 57 p.
9. LAURILA, L., HIIVOLA, S-L. & KARVONEN, T. Rukiin sakoluku Etelä-Pohjanmaalla. 56 p.
10. HUUSELA-VEISTOLA, E., PAHKALA, K. & MELA, T. Peltokasvit sellun ja paperin raaka-aineena. Kirjallisuustutkimus. 36 p. + 1 liite.
11. TIIRI, J. Muokkauksen vaikutus maan toimintoihin. 82 p.
12. NIEMELÄINEN, O. & HUUSELA-VEISTOLA, E. Typpilannoituksen vaikutus niittynurmikka-, nurmirölli-, puisto- ja punanatanurmikon kasvuun ja kestävyYTEEN. 38 p.
13. HUUSELA-VEISTOLA, E., NIEMELÄINEN, O. & HUHTA, H. Lajikkeen, lannoituksen ja leikkuun vaikutus niittynurmikka-natanurmikon menestymiseen. 33 p.
14. HUUSELA-VEISTOLA, E., NIEMELÄINEN, O. & HUHTA, H. Siemenmäärä nurmikon perustamisessa. 30 p.
15. NIEMELÄINEN, O., HUUSELA-VEISTOLA, E., NISSINEN, O., AHVENNIEMI, P., LAURILA, A. & RAVANTTI, S. Lannoituksen ja leikkuukorkeuden vaikutus nata- ja niittynurmikkalajikkeiden peittävyYTEEN ja kestävyYTEEN nurmikossa. 35 p. + 1 liite.
16. NIEMELÄINEN, O., HUUSELA-VEISTOLA, E. NISSINEN, O. & TALVITIE, H. Nurmikkosiemen-seosten menestyminen eri tavoin kunnostetulla kasvualustalla. 51 p., 5 liitettä.
17. HÄRKÖNEN, E., NIEMELÄINEN, O. & HUUSELA-VEISTOLA, E. Englanninraiheinä nurmikon perustamisessa Suomessa. 26 p. + 1 liite.

18. JUNNILA, S. & ERVIÖ, L-R. Uusien herbisidien tehokkuus ja käyttökelpoisuus viljakasvustoissa. 48 p.
19. ALAVIUHKOLA, T., SUOMI, K. & FRIMAN, T. Uusimmat koetulokset sikatalouden tutkimus-asemalta. 77p.
20. KEMPPAINEN, E., ANISZEWSKI, T. & MIETTINEN, E. Nurmikasvilajien vertailu Pohjois-Kainuussa. 17 p.
21. **Salaatin viljely ja sadon laatu. *Cultivation of lettuce and quality of yield.***
Yhteistutkimuksen "Salaatin viljelymenetelmien kehittäminen ja viljelytoimien vaikutus salaatin laatuun" loppuraportti. 179 p.
Toimittaneet RAILI JOKINEN ja RISTO TAHVONEN.
22. AVIKAINEN, H., HARJU, P., KOPONEN, H., MANNINEN, M., MEINANDER, B. & TAHVONEN, R. Desinfiointiaineiden soveltuvuus pelto- ja kasvihuonetuotannossa. 52 p. + 2 liitettä.
23. JOKI-TOKOLA, E. Rehun kuiva-ainepitoisuuden, paalien muovitustavan ja säilytyspaikan vaikutus pyöröpaalisäilörehun säilyvyyteen. 27 p.
24. JUHANOJA, S. & HIIRSALMI, A. Tuloksia puiden ja koristepensaiden menestymisen seurannasta vuosina 1970–90. 116 p.

1992

1. HAKKOLA, H. & KERÄNEN, T. Rehuviljakokeiden tuloksia 1977-91 Pohjois-Pohjamaan tutkimusasemalta. 22 p.
2. KOSSILA, V. & MÄNTYSAARI, P. Pikkuvasikoiden ruokintakoetuloksia Maatalouden tutkimuskeskuksessa v. 1973-89. 110 p. + 3 liitettä.
3. URVAS, L. Kalium-, mangaani- ja sinkkilannoituksen vaikutus timotein ravinnepitoisuuteen Pohjois-Suomen suonurmilla. 23 p.
4. NISSINEN, O. Yksivuotisten tuoreherukasvien soveltuminen laidun- ja niittoruokintaan Pohjois-Suomessa. 45 p.
5. HANNUKKALA, A.E. Timoteinurmen perustaminen Pohjois-Lapissa. 15 p.
6. MÄKELÄ-KURTTO, R., SIPPOLA, J. & JOKINEN, R. Teollisuuden jätevesilietteet ja niiden hyötykäyttö maataloudessa. (Loppuraportti tutkimushankkeesta "Teollisuuden jätevesilietteet ja niiden mahdollinen hyväksikäyttö maataloudessa".) 51 p. + 40 liitettä.
7. VANHALA, P. Rikkakasvien fyysikaalinen ja mekaaninen torjunta kasvukauden aikana. 68 p.
8. SAASTAMOINEN, M. Sohvi-herne. 41 p. + 2 liitettä.
9. MUSTONEN, L., RANTANEN, O., NIEMELÄINEN, O., PAHKALA, K., KONTTURI, M. & MÄKELÄ, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1984–1991. 109 p. + 2 liitettä.
10. GALAMBOSI, B. & RAHUNEN, I. Yrttien käyttö ja viljely. 39 p. + 1 liite.

11. SIMOJOKI, P., MEHTO-HÄMÄLÄINEN, U., LAITINEN, V. & RÄKKÖLÄINEN, M. Rikkakasvien torjunta ilman herbisidejä. 37 p.
12. **Hiehokasvatuskokeiden tuloksia.**
SAIRANEN, S., KOSSILA, V., ARONEN, I. & MICORDIA, A. Risteytyshiehot. P. 4–23.
KOSSILA, V., SAIRANEN, S., MICORDIA, A., VALMARI, A. & HAKKOLA, H. Hiehot ja hieholehmät. P. 24–40 + 9 liitettä.
KOSSILA, V., HEIKKILÄ, T. & SAIRANEN, S. Kaksoset ja kolmoset. P. 41–48 + 2 liitettä.
Toimittaneet VAPPU KOSSILA ja SILJA SAIRANEN.
13. URVAS, L. & HYVÄRINEN, S. Maaperäkarttaselitys. Lapinlahti. 13 p. + 2 liitettä.
14. **Pikkuvasikoiden ruokintakoetuloksia 1990–91.** 57 p. + 1 liite.
KOSSILA, V., ARONEN, I., TOIVONEN, V. & SAIRANEN, S. Korsirehun korjuuasteen vaikutus pikkuvasikoiden kasvuun ja rehunkulutukseen. P. 4–20.
KOSSILA, V., ARONEN, I., SAIRANEN, S. & MÄNTYSAARI, P. Piimäjauhe ja maitojauhe-10 verrattuna kurrijauhejuottoon ja ohrajauhoihin lisätyn kauraproteiinin vaikutus vasikoilla. P. 21–40.
KOSSILA, V., ARONEN, I., SAIRANEN, S. & NOUSIAINEN, J. Probioottien vaikutus pikkuvasikoiden kasvuun, rehunkulutukseen ja terveyteen. Eri suoliston osiin vaikuttavien probioottien yhdysvaikutus. P. 41–57.
Toimittaneet VAPPU KOSSILA & SILJA SAIRANEN.
15. NISSLÄ, E. Arttu-ohra. 16 p. + 3 liitettä.
16. SALO, T. Typpi- ja kloridilannoituksen vaikutus punajuurikkaan nitraattipitoisuuteen ja satoon. *The effect of nitrogen and chloride fertilization on the nitrate content and yield of beetroot.* 37 p. + 6 liitettä.
17. GALAMBOSI, B. & PIEKKARI, S. Yrtit, mausteet ja rohdokset Suomessa. Luettelo julkaisuista. 48 p.
18. MÄKELÄ-KURTTO, R., LINDSTEDT, L. & SIPPOLA, J. Laboratorioiden ja analyysimenetelmien välinen vertailututkimus viljelymaan raskasmetalleista. 61 p. + 3 liitettä.

1993

1. SAASTAMOINEN, M. Sisko-kaura. 24 p. + 2 liitettä.
2. MUSTONEN, L., RANTANEN, O., NIEMELÄINEN, O., PAHKALA, K., KONTTURI, M. & MÄKELÄ, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1985–1992. 108 p. + 2 liitettä.
3. KIVIJÄRVI, P., DALMAN, P. & VALO, R. Vihanneslajikkeet Etelä-Savon tutkimusasemalla vuosina 1983–91. (*Summary: Vegetable varieties tested at the South-Savo Research Station of the Agricultural Research Centre of Finland in 1983–91.*) 34 p.
4. RINNE, S-L., SIPPOLA, J. & SIMOJOKI, P. Omavaraisen viljelyn vaikutus maan ominaisuuksiin. (*Summary: Effect of self-sufficient cultivation on soil properties.*) 26 p. + 12 liitettä.

5. RINNE, K., SUVITIE, M. & RINNE, S-L. Ayrshiren, friisiläisen ja suomenkarjan monivuotinen vertailu kotovaraisella säilörehu-vilja- ja heinä-vilja-urearuokinnalla. Lehmien rehunkulutus, ravinnonsaanti, tuotokset, maidon koostumus sekä hedelmällisyys ja kestävyys 4.-6. lypsykausina. *Comparison of Finnish Ayrshire, Friesian and Finncattle on grass silage-cereal and hay-urea-cereal diets. Feed intake and nutrient supply, production and composition of milk, fertility and culling of the cows during the 4th-6th production years.* 48 p. + 1 liite.
6. VILKKI, J. Helmi-öljypellava. 8 p. + 3 liitettä.
7. VIRKAJÄRVI, P. & HUHTA H. Nurmen viljely polttoturvesoiden jättöalueilla. Timotein fosforilannoitus Tohmajärven Valkeasuolla. *Grass production on cut-away peatlands. Phosphorus fertilization for timothy (Phleum pratense) leys at Valkeasuo, Tohmajärvi.* 27 p. + 2 liitettä.
8. SANKARI, H. Bioenergian tuotantoon soveltuvat peltokasvit. Kirjallisuuskatsaus. Kasvintuotannon osaraportti esitutkimukseen "Energian tuottaminen elintarviketuotannosta vapautuvalla peltoalalla." *Suitability of cultivated plants for bioenergy production. Literary survey. The partial report of plant production to the preliminary study entitled "Energy production in the areas released from food production."* 38 p.
9. GALAMBOSI, B., KEMPPAINEN, R., SIKKILÄ, J. & TALVITIE, H. Maustekasvien merkitys mehiläisille. (*Summary: The significance of culinary herbs to bees.*) 62 p. + 9 liitettä.
10. URONEN, K.R., TAHVONEN, R., JOKINEN, R. & BARTOSIK, M-L. Kasvualustan johtokyvyn vaikutus vaikutus turpeessa viljellyn tomaatin satoon ja sadon laatuun. (*Summary; Sammanfattning.*) 34 p. + 3 liitettä.
11. ARONEN, I., LAMPILA, M. & HEPOLA, H. Säilörehu, heinä ja olki kasvavien ayrshiresonnien ruokinnassa. (*English summary.*) 24 p.
12. SUVELA, M. & SORMUNEN-CRISTIAN, R. Ympärivuotisen karitsoinnin merkitys lihan tuotantoon ja kannattavuuteen. *Effect of out-of-season lambing on meat production and profitability.* 52 p. + 3 liitettä.
SUVELA, M. & SORMUNEN-CRISTIAN, R. Ympärivuotinen karitsointi ja lihantuotanto. P. 7-43.
SUVELA, M. & SORMUNEN-CRISTIAN, R. Tiheän ja normaalin karitsoinnin vertailu. P. 44-52.
13. SIMOJOKI, P. Selluloosatehtaan jätelietteen lannoitusvaikutus. (*Summary: Fertilizer effect of sludge from a sulphate and paper mill.*) 17 p. + 2 liitettä.
14. **Omavaraisen viljelyn kannattavuuslaskelmia.** 33 p. + 4 liitettä.
MÄKINEN-HANKAMÄKI, S. Laskelmia omavaraisten viljelymenetelmien kannattavuudesta. (*Summary: Calculations on the profitability of self-sufficient cultivation methods.*) p. 7-23.
RIEPPONEN, L. Omavaraisen ja tavanomaisen viljelyn kannattavuuden vertailu. (*Summary: Comparison of the profitability of self-sufficient and conventional cultivation methods.*) p. 25-33.
15. KEMPPAINEN, E., JAAKKOLA, A. & ELONEN, P. Peltomaiden kalkitustarve ja kalkituksen vaikutus viljan ja nurmen satoon. (*Summary: Effect of liming on yield of cereals and grass.*) 44 p. + 29 liitettä ja 7 kuvaliitettä.
16. VUORINEN, M. & TAKALA, M. Sinimailasen viljelyyn vaikuttavia tekijöitä. (*Summary: Management of alfalfa.*) 17 p. + 1 liite ja 19 liitetaulukkoa.

17. VILKKI, J. Jyty-sareptansinappi. (*English summary.*) 12 p. + 8 liitettä.
18. PÄRSSINEN, P. Antti-nurminata. (*English summary.*) 10 p. + 2 liitettä.
19. LUOSTARINEN, M. & OLIN, A. Maatilojen ympäristönhoito ja -suunnittelu. Lounais-Hämeen maatilojen ympäristösuunnittelun tulokset ja maatilayhteistyön tutkimusohjelma vuosille 1993–96. (*Abstract: Environmental management and planning by farms. The results of environmental planning by farms in South-West Häme, Finland, and the research plan for farm co-operation during 1993 to 1996.*) 86 p. + 1 liite.
20. HUHTA, H. & JAAKKOLA, A. Viljelykasvin ja lannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen turvemaasta Tohmajärven huuhtoutumiskentällä v. 1983–87. 66 p. + 7 liitettä.

1994

1. LINNA, P. & JANSSON, H. Biotiitti nurmen kaliumlannoitteena. (*Summary: Biotite as a potassium fertilizer in grass production.*) 13 p. + 18 liitettä.
2. MUSTONEN, L., RANTANEN, O., NIEMELÄINEN, O., SANKARI, H., KONTTURI, M. & MÄKELÄ, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1986–1993. 112 p. + 1 liite.
3. HAKKOLA, H. Turpeeseen sekoitetun naudanlietelannan lannoitusvaikutus ja varastoinnin aikaiset ravinnehävikit. (*Summary: The fertilization effect of peat manure and nutrient losses during storage.*) 20 p. + 1 liite.
4. EVERS, A-M. Lannoituksen vaikutus kasvisten ravitsemukselliseen laatuun. Kirjallisuustutkimus. (*Summary: The effect of fertilization on the nutritional quality of vegetables. A literature review.*) 22 p.
5. KEMPPAINEN, R. Lannoitustavan vaikutus porkkana-, peruna- ja ohralajikkeiden satoon ja sadon laatuun. Komposti- ja väkilannoituksen vertailu. (*Summary: Effect of fertilization method on yield and yield quality of carrot, potato and barley. Comparison between compost and mineral fertilizer.*) 29 p. + 5 liitettä.
6. KANGAS, A., SIMOJOKI, P. & TALVITIE, H. Kevätviljojen kylvösiemenen taantuminen. (*Summary: Deterioration of the yielding capacity of cereal seed.*) 17 p.
7. VÄNNINEN, I. Kasvihuoneviljelmien tuhoeläimet ja torjunta-aineiden käyttö. Vuoden 1992 kyselytutkimuksen tulokset. (*Summary: Pests and pesticide usage on greenhouse cultivations. Results of a questionnaire survey from 1992.*) 30 p.
8. VIRKAJÄRVI, P. & KARVONEN, K. Mittalautasen soveltuvuus timoteivaltaisen laidunnurmen kuiva-ainemassan määrittämiseen. 21 p. + 1 liite.
9. RANTALA, M., UUSIVIRTA, R., ULMANEN, S. & HANNUKKALA, A. Sellutehtaan kuorijäte lietelannan, sakokaivolietteen ja jätevesien käsittelyssä. (*Summary: The barking waste from a pulp mill in the treatment of cow slurry, septic tank sludge and waste water.*) 54 p.
10. KALLIO, M. & SAIRANEN, S. Kotieläinten luonnonmukainen ruokinta. Kirjallisuuskatsaus. 20 p.

11. REGÅRDH, E. & NIEMELÄINEN, O. Luonnonvaraisten ruohovartisten kasvien siemenlisäyksen kehittäminen. Kirjallisuusselvitys. (*Summary: Developing the seed multiplication of herbaceous wild plants. A literature survey.*) 50 p. + 2 liitettä.
12. PAHKALA, K., MELA, T. & LAAMANEN, L. Agrokuidun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. Alustavan tutkimuksen loppuraportti 1990–1992. (*Summary: Prospects for the production and use of agrofibre in Finland. Final report of the preliminary study in 1990–1992.*) 56 p. + 2 liitettä.
13. VIRKAJÄRVI, P. & HUHTA, H. Nurmen viljely polttoturvesoiden jätöalueilla. Timoteinurmen kaliumlannoitus Tohmajärven Valkeasuolla. (*Summary: Grass production on cut-away peatlands. Potassium fertilization of timothy (Phleum pratense) leys at Valkeasuo, Tohmajärvi.*) 23 p. + 10 liitettä.
14. LAITINEN, P. Allelopatia – kasvien ja muiden eliöiden biokemiallinen vuorovaikutus. Kirjallisuustutkimus. 44 p.
15. URVAS, L. Salaojavesien ravinnehuhtoutumat karjatiljoilla. (*Summary: Leached nutrients in drain water on livestock farms.*) 32 p.
16. KEMPPAINEN, E. Naudan lietelannan ja ketun lannan ravinteiden huuhtoutuminen lysimetrikokeessa. (*Summary: Leaching of nutrients from cow slurry and fox manure in a lysimeter trial.*) 46 p. + 2 liitettä.
17. ALAKUKKU, L. & ELONEN, P. Syksyn kuljetusajon aiheuttama savimaan tiivistyminen. (*Summary: Compaction of a heavy clay soil by transport traffic in autumn.*) 30 p. + 13 liitettä.
18. KOIKKALAINEN, K. Luonnonmukaisen viljelyn talousseuranta. (*Summary: Economic follow-up of ecological farming.*) 23 p.
19. NISSINEN, O. & HAKKOLA, H. Korjuutavan ja kasvilajin vaikutus nurmen tuottokykyyn Pohjois-Suomessa. (*Summary: The effect of the harvesting method and plant species on the grassland productivity in North Finland.*) 48 p.

JAKELU: MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Kirjasto
31600 JOKIOINEN
puh. (916) 1881, telekopio (916) 188 339

HINTA: 50 mk (+ alv.)