



VAKOLA

PPA 1
03400 VIHTI
90-224 6211

VALTION MAATALOUSTEKNOLOGIAN TUTKIMUSLAITOS
STATE RESEARCH INSTITUTE OF ENGINEERING IN AGRICULTURE AND FORESTRY

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 54

HANNU MIKKOLA

**SYYSKYNTÖÄ KORVAAVIEN MUOKKAUSMENE-
TELMIEN VAIKUTUS KEVÄTVEHNÄN SATOON
1975-1988**

**EFFECTS OF AUTUMN PLOUGHING AND DIFFERENT REDUCED
TILLAGE METHODS ON YIELD AND QUALITY
OF SPRING WHEAT 1975-1988**

JYRKI PITKÄNEN

**PITKÄAIKAISEN AURATTOMAN VILJELYN
VAIKUTUKSET HIESUSAVEN RAKENTEeseen
JA VILJAVUUTEEN**

**EFFECTS OF LONGTERM REDUCED TILLAGE ON
STRUCTURE AND FERTILITY OF A SILTY CLAY SOIL**

VIHTI 1989

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 54

HANNU MIKKOLA

**SYYSKYNTÖÄ KORVAAVIEN MUOKKAUSMENE-
TELMIEN VAIKUTUS KEVÄTVEHNÄN SATOON
1975-1988**

**EFFECTS OF AUTUMN PLOUGHING AND DIFFERENT REDUCED
TILLAGE METHODS ON YIELD AND QUALITY
OF SPRING WHEAT 1975-1988**

JYRKI PITKÄNEN

**PITKÄAIKAISEN AURATTOMAN VILJELYN
VAIKUTUKSET HIESUSAVEN RAKENTEeseen
JA VILJAVUUTEEN**

**EFFECTS OF LONGTERM REDUCED TILLAGE ON
STRUCTURE AND FERTILITY OF A SILTY CLAY SOIL**

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji	
Hannu Mikkola, Vakola		Tutkimusselostus	
Jyrki Pitkänen, MTTK		Toimeksiantaja	
		Vakola	
		Toimielimen asettamispv	
Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)			
Syyskynnön korvaavien muokausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988 & Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen			
Julkaisun osat			
Tiivistelmä			
<p>Tutkimuksessa selvitettiin syyskynnön korvaamista syksyllä tehtävällä sänkimuokkauksella. Kenttäkokeet kestivät hiesusavimaalla 12 vuotta ja runsasmultaisella hietasavimaalla 13 vuotta. Hiesusavimaalla saatu sato oli kelajyrsimellä, kultivaattorilla, lautasäkeellä tai S-piikkiäkeellä tehdyn syyssänkimuokkauksen jälkeen sama tai 1 - 2 % alempi kuin syyskynnön jälkeen. Runsmultaisella hietasavella saatiin kelajyrsimellä ja kultivaattorilla tehdyn syyssänkimuokkauksen jälkeen 3 % alempi sato kuin syyskynnön jälkeen. Muilla sänkimuokkaukseen käytetyillä äkeillä saatiin runsasmultaisella hietasavella selvästi tätä alempi sato.</p> <p>Kynnön korvaaminen sänkimuokkauksella aiheuttaa juuririkkakasvien lisääntymistä. Tämän lisäksi olki ja sängen jätteet haittaavat kylvömuokkausta ja kylvöä. Parhaiten käytäntöön soveltuviksi sänkimuokausvälineiksi osoittautuivat kultivaattori ja lautasäes.</p> <p>Kyntämättömän hiesusavimaan ruokamultakerroksen keski- ja alaosan tilavuuspaino sekä mekaaninen vastus olivat suurempia kuin kynnetyssä maassa. Vuosittain toistunut syyssänkimuokkaus oli tiivistänyt maata sänkimuokauskerroksen alapuolelta. Syyskynnetyn maan jankon tilavuuspaino ja mekaaninen vastus nousivat jyrkästi verrattuna kyntämättömään maahan ja kevätkynnettyyn maahan. Maan vedenläpäisyvyys oli 0 - 20 cm:n syvyydessä yhtä suuri syyskynnetyissä sekä kultivaattorilla sänkimuokatussa tai sänkimuokkaamattomassa maassa. Kynnetyn maan vedenläpäisyvyys oli jankossa hieman suurempi kuin kyntämättömässä maassa.</p> <p>Kyntämättömän maan pintakerrokseen oli kertynyt humusta, fosforia ja kaliumia. Toisaalta magnesium ja kalsium olivat siirtyneet kyntämättömässä maassa syvempiin kerrokseen kuin kynnetyssä maassa. Kasvinravitsemuksen kannalta ravinteiden erilaisella jakaantumisella ei ilmeisesti ole merkitystä.</p>			
Avainsanat (asiasanat)			
auraton viljely, minimimuokkaus, maan rakenne, maan viljavuus			
Muut tiedot			
Saatavissa Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitokselta (Vakola), puh. 90-2246211			
Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
Vakolan Tutkimusselostus nro 54		0782-0054	
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
	suomi	25 mk	
Jakaja		Kustantaja	

ALKUSANAT

Vakola aloitti vuonna 1975 Maatilatalouden kehittämisrahaston rahoittaman kolmivuotisen tutkimuksen, jossa selvitettiin kahdella koekentällä (hiesusavella ja runsasmultaisella hietasavella) maanmuokkauksen minimointiin sekä kylvö- ja lannoitusvantaiden ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksesta on julkaistu vuonna 1979 Vakolan tutkimusselostus (KARA ja RÄISÄNEN 1979).

Kenttäkokeita jatkettiin laitoksen omana tutkimuksena, jotta saataisiin tietoa kyntämättä viljelystä pitkällä aikavälillä. Ensisijaisesti seurattiin kevätvehnän sadon kehittymistä. Sen lisäksi tutkittiin orastuvuutta ja sadon laatua. Kenttäkokeiden päättyessä MTTK:n maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto tutki maan rakennetta hiesusavikentällä.

Koekenttien hoidosta ovat vastanneet 1975 - 1979 tutkimusteknikko Arvo Palomäki, 1980 - 1981 MMM Lassi Räisänen, 1980 - 1988 tutkimusteknikko Mikko Hänninen sekä 1982 - 1984 agr. Jussi Esala ja 1985 - 1988 agr. Hannu Mikkola. Maaperään ja maaeläimiin liittyviin tutkimuksiin ovat osallistuneet FK Jari Haukka (kastelierot, HAUKKA 1988) ja MMK Jyrki Pitkänen (maaperäanalyysit) Maatalouden tutkimuskeskuksesta.

Hannu Mikkola on kirjoittanut tämän tutkimusselostuksen kevätvehnän satoa ja sadon laatua koskevan osan. Jyrki Pitkäsen kirjoittamassa osassa käsitellään maaperätutkimusten tuloksia.

FÖRORD

De två föreliggande rapporterna redovisar resultaten av ett långtidsförsök med höstplöjningsersättande jordbearbetningsmetoder. Försöket utfördes 1975 - 1988 på två jordarter; mjälalera och mullrik molera. Agronom Hannu Mikkola vid Statens lantbruksteknologiska forskningsanstalt, VAKOLA, behandlar skörderesultaten, vilka registerades årligen på båda jordarterna. AFK Jyrki Pitkänen vid Lantbrukets forskningscentral, avdelningen för agrikulturkemi- och fysik, behandlar jordens struktur och näringstillstånd. Dessa undersöktes vid försökstidens slut på den ena jordarten; mjälalera.

PREFACE

These two reports present the results of a long-term study of alternative tillage methods to autumn ploughing. The trial was carried out 1975 - 1988 on two soil types; silty clay and humus rich sandy clay. M.Sc.agr. Hannu Mikkola from the State Research Institute of Engineering in Agriculture and Forestry, VAKOLA, deals with the harvest results, which were registered each year on both soil types. M.Sc.agr. Jyrki Pitkänen from the Agricultural Research Center deals with the soil's structure and fertility, which were studied at the end of the period on one of the soil types; silty clay.

Vihti 1.11.1989

Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos
Statens Lantbruksteknologiska forskningsanstalt
State Research Institute of engineering in Agriculture and
Forestry

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
ALKUSANAT	3
FÖRORD	4
PREFACE	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
TIIIVISTELMÄ	7
SAMMANFATTNING	9
SUMMARY	11
1. JOHDANTO	13
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	14
2.1 KENTTÄKOKKEET	14
2.2 KOEVIOSIEN SÄÄLOT	17
3. TULOKSET	19
3.1 SADON MÄÄRÄ	19
3.2 ORASTUVUUS	24
3.3 PUINTIKOSTEUS	25
3.4 HEHTOLITRAPAINO	26
4. TULOSTEN TARKASTELU	27
4.1 SÄTO, ORASTUVUUS JA SADON LAATU	27
4.2 KONEIDEN SOVELTUVUUS AURATTOMAAN VILJELYYN	29
5. LÄHDELUETTELO	32

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa seurattiin aurattomien viljelymenetelmien vaikutusta kevätiljan satoon kahdella koekentällä vuosina 1975 -1988. Toinen koekenttä oli hiesusavella ja toinen runsasmultaisella hietasavella. Syyskyntöä korvaavina muokkausmenetelminä olivat kevätkyntö sekä kyntämättömän maan syyssänkimuokkaus jyrsimellä, kultivaattorilla, lautasäkeellä, S-piikkiäkeellä tai lapiorullaäkeellä. Lisäksi yhtenä koejäsenenä oli kyntämätön maa, joka ainoastaan kylvömuokattiin keväällä S-piikkiäkeellä. Oljet kerättiin sadonkorjuun jälkeen pois tai silputtiin. Koekasvina oli useimpina vuosina kevätevehnä. Hiesusavella saatiin jyrsimellä, kultivaattorilla, lautasäkeellä tai S-piikkiäkeellä tehdyn sänkimuokkauksen jälkeen sama tai 1-2 % pienempi sato kuin syyskynnön jälkeen.

Runsasmultaisella hietasavella sänkimuokkauksen jälkeen saatu sato oli keskimäärin koko koeaikana 3 % pienempi kuin syyskynnön jälkeen.

Kyntö estää tehokkaimmin juuririkkakasvien lisääntymisen. Myös sänkimuokkaus jyrsimellä ja kultivaattorilla ovat tehokkaita menetelmiä, eikä kemiallinen torjunta ole tarpeen kuin 3 - 5 vuoden välein. Jos sänkimuokkaukseen käytetään lautas-, lapiorulla- tai S-piikkiäestä tai sänkimuokkaus jätetään kokonaan tekemättä, torjuntaväli lyhenee 1 - 3 vuoteen.

Jyvien kosteus puintihetkellä oli kyntämättä viljellyillä ja sänkimuokatuilla koeruuduilla 0,3 - 2,9 %-yksikköä korkeampi kuin syyskynnetyillä koeruuduilla. Hehtolitraino oli kyntämättä viljellyillä koeruuduilla sama tai 1-3 % alempi kuin syyskynnetyillä koeruuduilla.

Kyntämättömän maan ja keväällä kynnetyn maan kylvömuokkaus on vaikeampaa kuin syyskynnetyn maan. Sänki ja oljen jätteet tukkivat helposti äkeen ja niistä on haittaa myös kylvettäessä.

Kylvömuokkaus kyntämättömällä maalla edellytti yleensä 3 - 4 ajokertaa, kun syyskynnetty maa muokkautui kahdella ajokerralla.

Sänkimuokkauksessa kultivaattori ja lautasäes sekoittavat oljen hyvin muokkauskerrokseen eivätkä ole arkoja tukkeutumaan. Niiden maahantunkeutumiskyky on kuitenkin huono, jos maa on kuivaa ja kovaa. Kultivaattorin piikkien pitäisi olla maahakuisia ja lautasäkeen painon 50 - 75 kg/lautanen. Kultivaattorissa ja lautasäkeessä pitäisi olla kunnolliset työsyvyyden säätölaitteet, ettei muokkaussyvyys vaihtelee maan kovuuden mukaan. Kelajyrsin on sänkimuokkauksessa hidas, vaatii paljon tehoa eikä sovi kiviselle maalle.

SAMMANFATTNING

EFFEKTEN AV HÖSTPLÖJNINGERSÄTTANDE JORDBEARBETNINGSMETODER PÅ VÅRVETETS SKÖRD I ETT LÅNGTIDSFÖRSÖK 1975-1988

I Undersökningen följdes åren 1975-1988 hur plöjningsfria odlingsmetoder inverkade på vårsädesskörden på två försöksfält. Det ena försöksfältet var på mjälalera och det andra på mullrik molera. De metoder som användes att ersätta höstplöjningen var vårplöjning samt stubbearbetning på hösten. För stubbearbetningen användes knivrotorfräs, pinnkultivator, tallriksharv, S-pinneharv eller spadrullharv. Såbäddsbearbetningen på våren gjordes i samtliga försöksled med S-pinneharv. Dessutom ingick ett försöksled med oplöjd mark som endast bearbetades med S-pinneharv på våren. Halmen bärgades efter tröskningen eller hackades. Försöksväxt var de flesta år vårvete.

På mjälalera erhöles med stubbearbetning med knivrotorfräs, pinnkultivator, tallriksharv eller S-pinneharv samma eller 1-2 % mindre skörd än med höstplöjning. På mullrik molera var skörden med stubbearbetning i medelvärde under hela försökstiden 3 % mindre än med höstplöjning.

Höstplöjning är den metod som effektivast hindrar förökning av rotoqräs. Också stubbearbetning med knivrotorfräs eller pinnkultivator är effektiva; kemisk bekämpning behövs då inte oftare än med 3-5 års mellanrum. Om man använder tallriks-, spadrull- eller S-pinneharv för stubbearbetningen eller lämnar bort stubbearbetningen helt, förkortas intervallet för kemisk bekämpning till 1-3 år.

Spannmålens skördevattenhalt var 0,3-2,9 procentenheter högre på de oplöjda och stubbearbetade försöksblocken än på de höstplöjda försöksblocken. Hektolitervikten var på de plöjningsfritt ådlade blocken samma eller 1-3 % lägre än på de höstplöjda blocken.

Såbäddsbearbetningen är svårare att utföra på oplöjd mark och vårplöjd mark än på höstplöjd mark. Stubb och halmrester på oplöjd mark stockar lätt harven och de är också till nackdel vid sâdden. Såbäddsbearbetningen på oplöjd mark krävde i allmänhet 3-4 körgån-

ger, medan såbädden på höstplöjd mark låt sig färdigställas på 2 körgånger.

Pinnkultivator och tallriksharv blandar väl in halmen i bearbetningsskiktet vid stubbearbetning och de är inte känsliga för stockning. Deras förmåga att tränga ner i jorden är dock dålig, om jorden är torr och hård. Kultivatorpinnarna borde vara jordsökande och tallriksharvens vikt vara 50-75 kg/tallrik. Kultivatorer och tallriksharvar borde ha ordentliga regleringsdon för arbetsdjupet, så att inte arbetsdjupet skulle variera med markens hårdhet. Knivrotorfräsen är långsam i stubbearbetning, kräver mycket effekt och passar inte för stenig mark.

SUMMARY

EFFECTS OF AUTUMN PLOUGHING AND DIFFERENT REDUCED TILLAGE METHODS ON YIELD AND QUALITY OF SPRING WHEAT 1975-1988

The effect of ploughless tillage on the yield of spring cereals was studied on two experimental fields in the years 1975-1988. One of the fields was established on silty clay and the other one on humus rich sandy clay. Methods replacing the autumn ploughing were spring ploughing and stubble cultivation in the autumn with rotary cultivator, tine cultivator, disc harrow, S-tine harrow or spade roller harrow. Additionally one treatment was unploughed land, that was only prepared with S-tine harrow in the spring. The straw was removed from the fields after the harvest or chopped. Most years spring wheat was used as test plant.

On silty clay was got the same or 1-2 % lower yield with stubble cultivation with rotary cultivator, tine cultivator, disc harrow or S-tine harrow than with autumn ploughing. On humus rich sandy clay the best yield with stubble cultivation was 3 % lower than with autumn ploughing.

Autumn ploughing is the method that most effectively prevents increase of rootpropagated weeds. Also stubble cultivation with rotary or tine cultivator are effective methods in this respect and chemical weed control is needed only with intervals of 3-5 years. If the stubble cultivation is done with disc-harrow, S-tine harrow or spade roller harrow or is not done at all, the interval for need of chemical control is shortened to 1-3 years.

Grain moisture content at harvest was 0.3-2.9 %-units higher with stubble cultivation than with autumn ploughing. The weight per hectolitre was the same or 1-3 % lower without ploughing than with autumn ploughing.

Seedbed preparation on unploughed and spring ploughed land is more difficult than on autumn ploughed land. Stubble and straw rests easily block up the harrow and they also disturb the seeding.

Seedbed preparation on unploughed land generally demanded 3-4 drives, whereas on autumn ploughed land two drives was enough.

In stubble cultivation tine cultivator and disc harrow mix the straw into the top soil layer well, and they do not easily get blocked up. Nevertheless, their soil penetrating ability is bad if the soil is dry and hard. The cultivator tines should be shaped for good penetration and the weight of the disc harrow should be 50-75 kg/disc. Cultivators and disc harrows should have proper adjustment mechanism, so that the working depth would not change by the hardness of the soil. Rotary cultivators are slow in stubble cultivation, they demand much power and are not suitable for stony fields.

1. JOHDANTO

Kyntö on melko hidas, runsaasti energiaa ja hyvää ammattitaitoa vaativa työvaihe. Jos joudutaan kyntämään märissä oloissa, maa tiivistyy eikä maan rakenteen korjaamiseen ole mitään nopeaa ja yksinkertaista keinoa. Lisäksi kynnetystä maasta huuhtoutuu helposti ravinteita ja se on altis eroosion vaikutukselle.

Näiden syiden vuoksi on ryhdytty tutkimaan viljelymenetelmiä, joissa maata ei kynnetä. Kyntö voidaan korvata muilla muokkausmenetelmillä tai pellon perusmuokkaus voidaan jättää kokonaan tekemättä. Ääritapauksessa jätetään myös kylvömuokkaus pois ja viljeltävä kasvi kylvetään suoraan edellisen kasvin jälkeen. Pohjoismaissa aurattomia viljelymenetelmiä on käytetty lähinnä syyskylvöjen yhteydessä, nurmien ja laidunmaiden uudistamisessa sekä kylvettäessä kevätiljoja hiesumaille ja hiesupitoisille maille. Kynnön poisjättämisestä ovat mm. RYDBERG (1988), PITKÄNEN ym. (1988) ja EKEBERG (1988) todenneet aiheutuvan seuraavia haittoja: vaikeasti torjuttavien rikkakasvien, erityisesti juolavehnan määrä lisääntyy, maan pintakerros saattaa tiivistyä, kasvinjätteet haittaavat muokkausta ja kylvöä.

Toisaalta on todettu sadon määrän pysyvän samana tai lähes samana, kun tavanomaisesta viljelystä siirrytään aurattomaan viljelyyn. Joissain tapauksissa, esimerkiksi hiesumailla, on sadon määrä saattanut jopa lisääntyä (PITKÄNEN ym. 1988). Maan pintakerroksen humuspitoisuus lisääntyy vähitellen, mikä vähentää hiesupitoisten maiden liettymishaittoja. Lisäksi pellon pintakerrokseen jäävä olki vähentää haihtumista, mistä on etua poutivilla maille (RYDBERG 1986, PITKÄNEN 1988). Kyntämättömässä maassa lierojen tekemät reiät eivät tuhoudu. Ne johtavat vettä syvempiin maakerroksiin ja salaojiin sekä helpottavat kasvien juurten tunkeutumista maahan (EDWARDS ja LOFTY 1978).

RYDBERGIN (1988) mukaan vielä ei ole osattu täysin hyödyntää kaikkia aurattomien viljelymenetelmien tarjoamia mahdollisuuksia. Tutkimuksissa ja käytännössä on jouduttu käyttämään tekniikkaa, joka on suunniteltu kynnetyn maan muokkaamiseen ja kylvämiseen. Siksi olisi ratkaistava kynnön poisjättämisestä aiheutuvat tekniset ongelmat. Ellei todettuja ongelmia pystytä ratkaisemaan,

aurattoman viljelyn merkitys käytännön viljelymenetelmänä tulee jäämään vähäiseksi.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 KENTTÄKOKEET

Kenttäkokeet tehtiin hiesusavella vuosina 1975 - 1986 ja runsasmultaisella hietasavella vuosina 1976 - 1988. Koekentät sijaitsivat Vihdissä. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty koekasvit ja osa vuosina 1975 - 1978 tehdyistä mittauksista ja määrityksistä. Taulukoissa mainittujen mittausten lisäksi ovat KARA ja RÄISÄNEN (1979) tutkineet vuosina 1975 - 1978 maan kosteutta, maan mururakennetta ja rikkakasvien määrää.

Taulukko 1. Hiesusavella tehdyt mittaukset ja määritykset eri vuosina.
Table 1. Measurements and definitions on silty clay soil in different years.

Vuosi Year	Koekasvi Experiment plant	Sato Yield	Puinti- kosteus Grain moisture	HL-paino HL-weight	Orastuvuus Shooting
1975	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	X
1976	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	X
1977	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	X
1978	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	X
1979	Ohra Spring barley	X	X		
1980	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	
1981	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	
1982	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	
1983	Kevätvehnä Spring wheat	X	X		X
1984	Kevätvehnä Spring wheat	X	X		
1985	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	X
1986	Kevätvehnä Spring wheat	X	X		

Taulukko 2. Runsmultaisella hietasavella tehdyt mittaukset ja määritykset eri vuosina.
Table 2. Measurements and definitions on humus rich sandy clay in different years.

Vuosi Year	Koekasvi Experiment plant	Sato Yield moisture	Puinti- kosteus Grain	HL-paino HL-weight	Orastuvuus Shooting
1976	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	X
1977	Ohra Spring barley	X	X	X	X
1978	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	X
1979	Ohra Spring barley	X	X		
1980	Kevätvehnä Spring wheat	X	X		X
1981	Kevätvehnä Spring wheat	X	X		X
1982	Kevätvehnä Spring wheat	X	X		X
1983	Kevätvehnä Spring wheat	X	X		X
1984	Kevätvehnä Spring wheat	X	X		
1985	Kevätvehnä Spring wheat	X	X	X	X
1986	Kevätvehnä Spring wheat	X	X		
1987	Kevätvehnä Spring wheat	X	X		
1988	Rypsi Turnip rape	X	X		

Koejäseniä oli kahdeksan. Syyskinto oli koejäsen, johon muita menetelmiä verrattiin. Koejäsenet ja niistä jäljempänä käytettävät lyhenteet ovat:

Taulukko 3. Koejäsenet ja niistä käytettävät lyhenteet.
Table 3. Treatments and abbreviations used from them.

Käsittely Treatment	Lyhenne Abbreviation
1. Syyskyntö, kyntösyvyys 20-25 cm Autumn ploughing, depth 20-25 cm	Sk
2. Kevätkyntö, kyntösyvyys 15-20 cm Spring ploughing, depth 15-20 cm	Kk
3. Sänkimuokkaus kelajyrsimellä, muok- kaussyvyys 10 cm Stubble cultivation with a PTO- driven rotary cultivator, depth 10 cm	Jy
4. Sänkimuokkaus kultivaattorilla, muokkaussyvyys 10-15 cm Stubble cultivation with a tine cultivator, depth 10-15 cm	Ku
5. Sänkimuokkaus lautasäkeellä, muokkaussyvyys 5-10 cm Stubble cultivation with a disk harrow, depth 5-10 cm	La
6. Sänkimuokkaus S-piikkiäkeellä, muokkaussyvyys 5-8 cm Stubble cultivation with a S-tine harrow, depth 5-8 cm	Sp
7. Sänkimuokkaus lapiorullaäkeellä, muokkaussyvyys 5-8 cm Stubble cultivation with a spade roller harrow, depth 5-8 cm	Lr
8. Ei kyntöä eikä sänkimuokkausta, ainoastaan kylvömuokkaus keväällä Neither ploughing nor stubble cultivation, only seedbed preparation in spring	0

Koekentän kerranteet oli sijoitettu rinnakkain. Koejäsenet olivat systemaattisesti samassa järjestyksessä jokaisessa kerranteessa. Järjestys oli sama kuin edellä esitetystä koejäsenten luettelossa. Kerranteita oli 5.

Kolmena syksynä sänkimuokkaukskäsittelet jouduttiin siirtämään märkyyden vuoksi kevääseen. Syyskylntö tehtiin kaikkina vuosina, vaikka kylntöolot joinain vuosina olivatkin vaikeat. Vuosina 1975, 1976 ja 1987 oljet silputtiin koekentälle. Muina vuosina oljet kerättiin pois.

Koeruudet kylvömuokattiin keväällä S-piikkiäkeellä. Yleensä muokkaus edellytti kahta ajokertaa, mutta huonoiten muokkautuva Kk-koejäsen jouduttiin äestämään joinain vuosina jopa 4 - 5 kertaa. Parhaiten muokkautuivat Sk- ja Jy-koejäsenet. Muokkaussyvyys vaihteli 5 - 7 cm:iin. Kylvömuokkaus aloitettiin, kun Sk-koejäsen oli kuivunut muokkaukseen. Koko koekenttä muokattiin ja kylvettiin aina samana päivänä. Kylntämätön maa oli tällöin yleensä kosteampaa kuin kylntetty ja muokkautui siksi huonommin.

Kylvöön ja lannoitukseen käytettiin kylvö-lannoituskonetta, jossa oli S-piikkeihin kiinnitettyt lannoitusvantaat ja laaha- tai lautaskylvövantaat. Kasvinsuojeluruiskutukset siemenrikkakasvien torjumiseksi tehtiin säännöllisesti vuosittain. Juolavehnnä torjuttiin ruiskuttamalla 0-ruudut syksyllä 1975 Amitrolilla ja 1979 Roundupilla. 1988 runsasmultaisella hietasavella sijainnut kenttä ruiskutettiin Kusagardilla.

2.2 KOEVUOSIEN SÄÄLOLOT

Taulukossa 3 on esitetty touko - syyskuun sademäärä- ja lämpötilahavainnot kaudelta 1975 - 1988. Havainnot on tehty Maasojan mittausasemalla, joka sijaitsee noin 4 km:n etäisyydellä koekentistä (ANON. 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987).

Taulukko 4. Touko - syyskuun sademäärä- ja lämpötilahavainnot Maasojan mittaus-
 asemalla vuosina 1975-1987
 Table 4. Precipitation and temperature observations during april-semptember
 at Maäsoja station for observations in 1975-1987

Vuosi Year	Kuukauden sademäärä, mm Precipitation/month, mm					Kuukauden keskilämpötila, °C Mean temperature/month, °C				
	Toukokuu May	Kesäkuu June	Heinäkuu July	Elokuu August	Syyskuu September	Toukokuu May	Kesäkuu June	Heinäkuu July	Elokuu August	Syyskuu September
1975	45	23	47	44	59	11,1	13,0	16,9	15,1	12,2
1976	28	39	48	66	52	10,1	12,7	15,0	13,7	6,9
1977	16	48	89	55	78	9,2	14,1	14,5	13,6	7,4
1978	6	52	70	90	67	9,6	14,2	14,7	12,9	8,0
1979	35	43	105	69	76	10,7	15,6	14,3	15,2	8,9
1980	41	25	57	108	53	7,0	14,7	16,0	13,9	10,2
1981	29	123	92	126	30	11,1	13,1	16,6	13,5	9,8
1982	28	39	55	108	43	9,0	11,3	16,4	15,2	9,8
1983	39	55	46	54	80	11,4	13,2	17,1	14,8	11,3
1984	45	83	72	34	97	12,5	13,4	14,8	13,7	9,6
1985	41	52	72	79	75	9,0	13,2	15,4	15,8	8,7
1986	51	28	103	138	88	10,8	16,3	16,3	13,2	6,4
1987	41	64	47	78	126	8,2	12,4	15,2	12,0	8,7
X	34	52	69	81	71	10,0	13,6	15,6	14,0	9,1

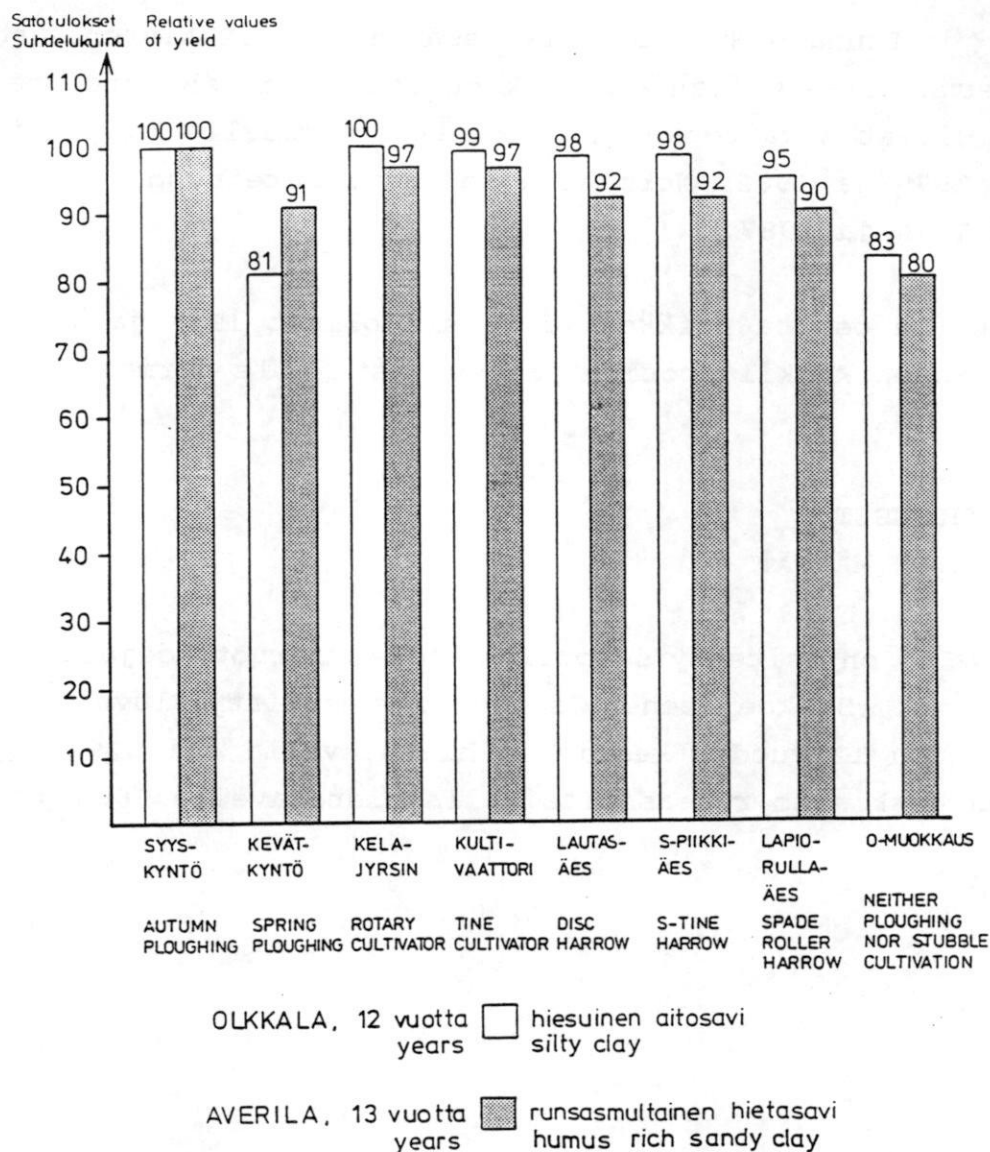
Etelä- ja Lounais-Suomessa alkukesä on pitkäaikaisten säähavaintojen perusteella viljan kasvun kannalta liian vähäsateista. Koekaudella olivat sekä touko- että kesäkuu normaalia kuivempia vuosina 1976, 1979 ja 1982. Normaalista selvästi sateisempia vuosia olivat 1981, 1986 ja 1987.

Lämpötilan osalta poikkeavia vuosia olivat 1978 ja 1987, jolloin kasvukauden keskilämpötila jäi selvästi alle normaaliarvojen.

3. TULOKSET

3.1 SADON MÄÄRÄ

Kuvassa 1. on esitetty satotulosten keskiarvot koejäsenittäin suhdelukuina. Sk-koejäsenen satoa on merkitty luvulla 100. Sk-koejäsenen 12 vuoden keskisato hiesusavella oli 3290 kg/ha ja 13 vuoden keskisato runsasmultaisella hietasavella 3600 kg/ha.

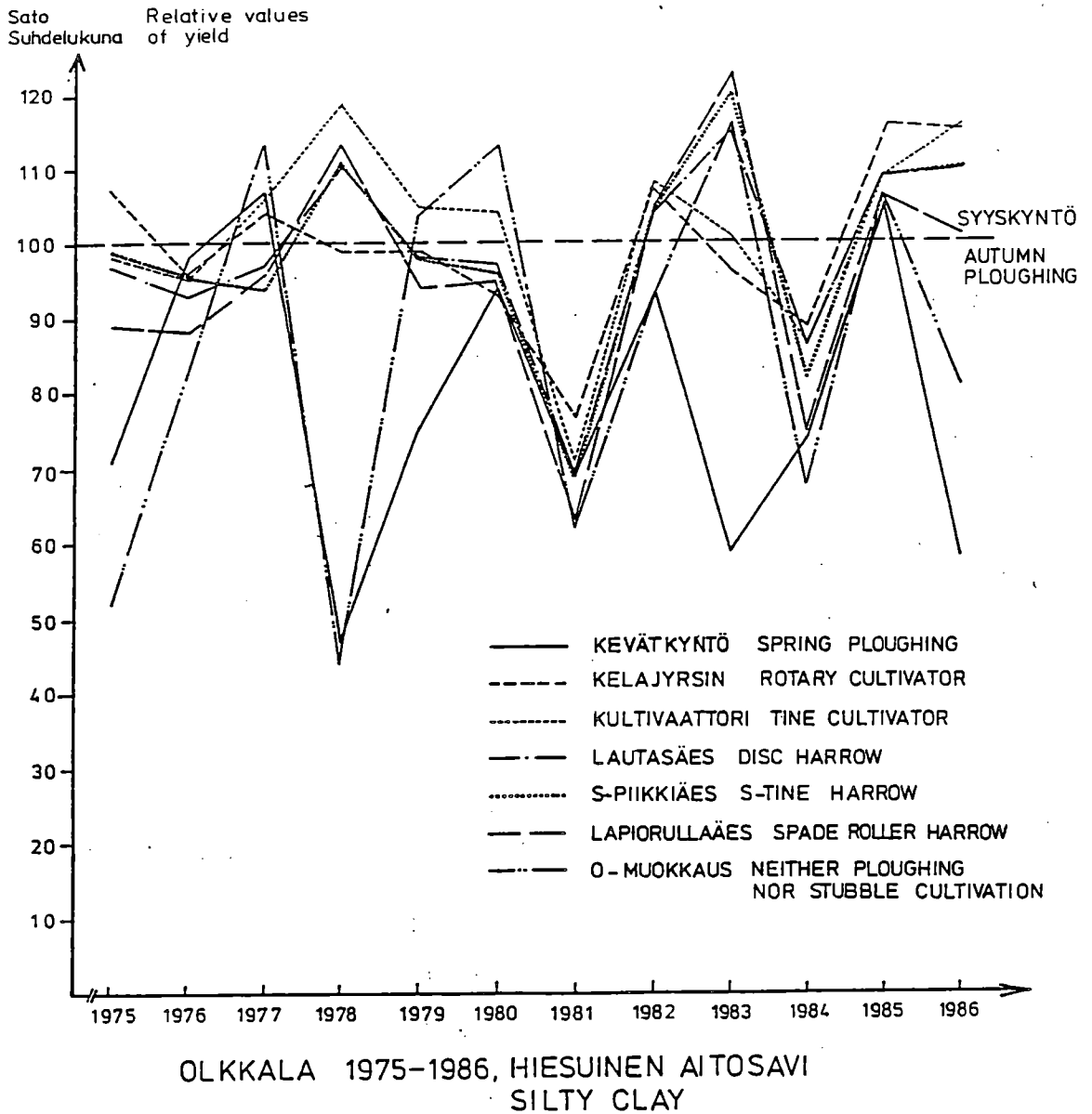


Kuva 1. Satotulosten keskiarvot suhdelukuina, Sk- koejäsenen suhdeluku on 100.

Figure 1. Mean values of grain yields as relative values, the relative value of Sk-treatment is 100.

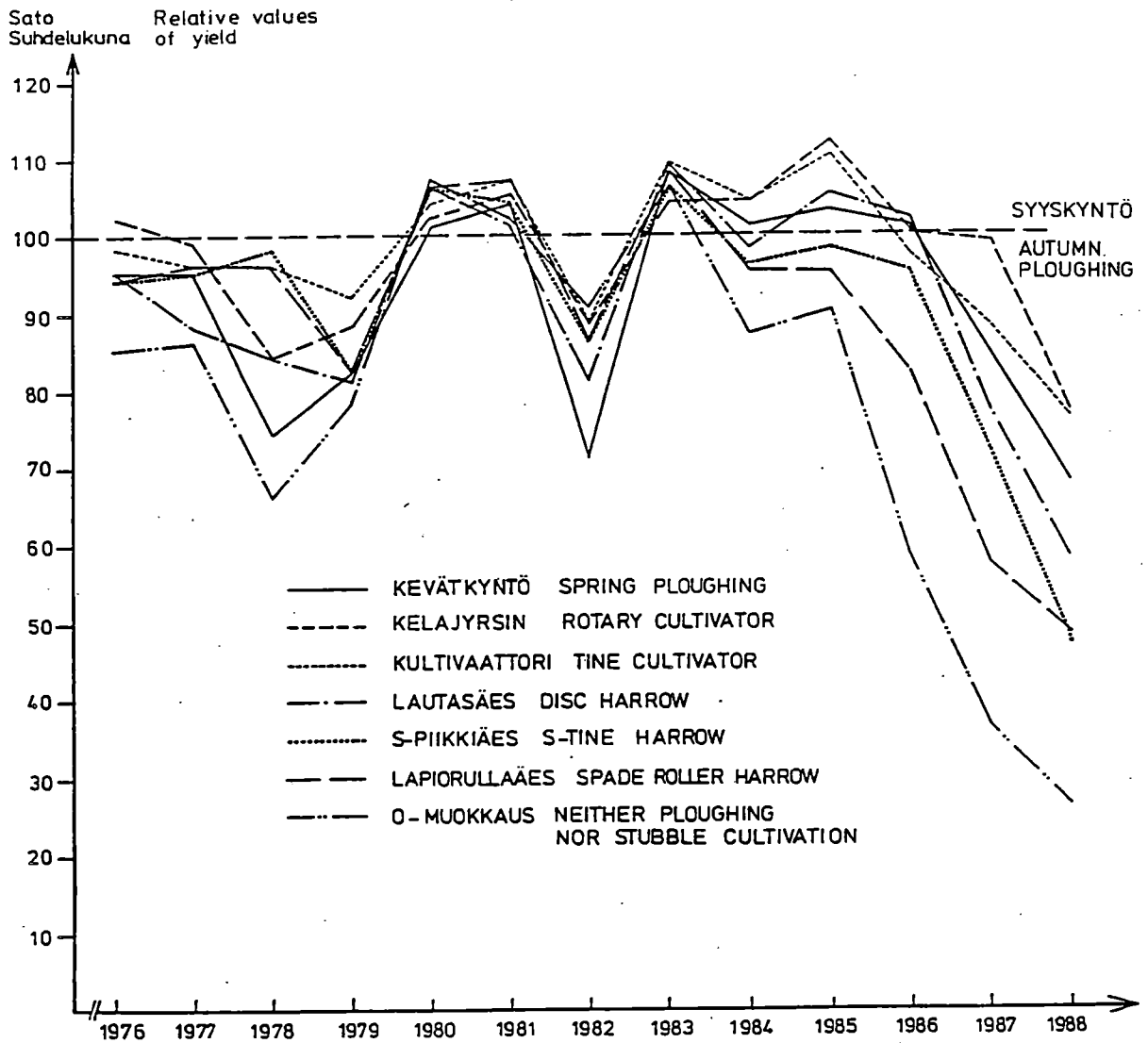
Kk- ja 0-koejäsenten sato oli molemmilla koekentillä keskimäärin selvästi pienempi kuin Sk-koejäsenen. Erityisen huonosti kevätkyntö sopi hiesusavimaalle.

Hiesusavimaalla saatiin syyskyntöä korvaavien sänkimuokkauskesittelyjen jälkeen yhtä suuri tai lähes yhtä suuri sato kuin syyskynnön jälkeen. Myös runsasmultaisella hietasavella saatiin parhaiden sänkimuokkauskesittelyjen jälkeen lähes yhtä suuri sato kuin syyskynnön jälkeen. Sadon määrän kannalta parhaat sänkimuokkausvälineet olivat kelajyrsin ja kultivaattori.



Kuva 2. Vuosittaiset satotulokset suhdelukuina, hiesusavi v. 1975 - 1986. Sk-koejäsenen suhdeluku on 100.

Figure 2. Annual grain yields as relative values, silty clay soil, years 1975 - 1986. The relative value of Sk-treatment is 100.



AVERILA 1975-1986, RUNSASMULTAINEN HIETASAVI
HUMUS RICH SANDY CLAY

Kuva 3. Vuosittaiset satotulokset suhdelukuina, runsasmultainen hietasavi v. 1976 - 1988. Sk-koejäsenen suhdeluku on 100.
Figure 3. Annual grain yields as relative values, humus rich sandy clay soil, years 1976 - 1988. The relative value of Sk-treatment is 100.

Aurattomien viljelymenetelmien sadot vaihtelivat syyskyntö-koejäsenen satoon verrattuna varsin samansuuntaisesti eri vuosina. Tämän tutkimuksen perusteella ei kuitenkaan voitu selvittää, miksi aurattomilla viljelymenetelmillä saatiin joinain vuosina suurempi tai pienempi sato kuin syyskyntöä käyttäen. Säänavaintojen perusteella saattoivat vuoden 1981 runsaat sateet alentaa sänkimuokkausmenetelmillä saatua satoa hiesusavikentällä. Vastaavaa johtopäätöstä ei kuitenkaan voida tehdä muiden sateisten vuosien osalta.

Satovaihtelua kuvaava satotulosten keskihajonta vaihteli hiesusavella 840 - 940 kg:aan lukuunottamatta kevätkyntö-koejäsentä, jonka keskihajonta oli 1160 kg.

Runsasmultaisella hietasavella keskihajonta vaihteli 1060 - 1120 kg:aan. Tällä koekentällä poikkeuksen muodostivat Lr- ja 0-koejäsenet, joiden keskihajonta oli 1220 kg ja 1300 kg. Vaihtelua laskettaessa on otettu huomioon vain ne vuodet, jolloin koekasvina oli kevätvehnä. Auraton viljely ei siten lisännyt eikä vähentänyt satovaihtelua tavanomaiseen viljelyyn verrattuna, kun syyskyntö korvattiin tehokkaalla syyssänkimuokkauksella.

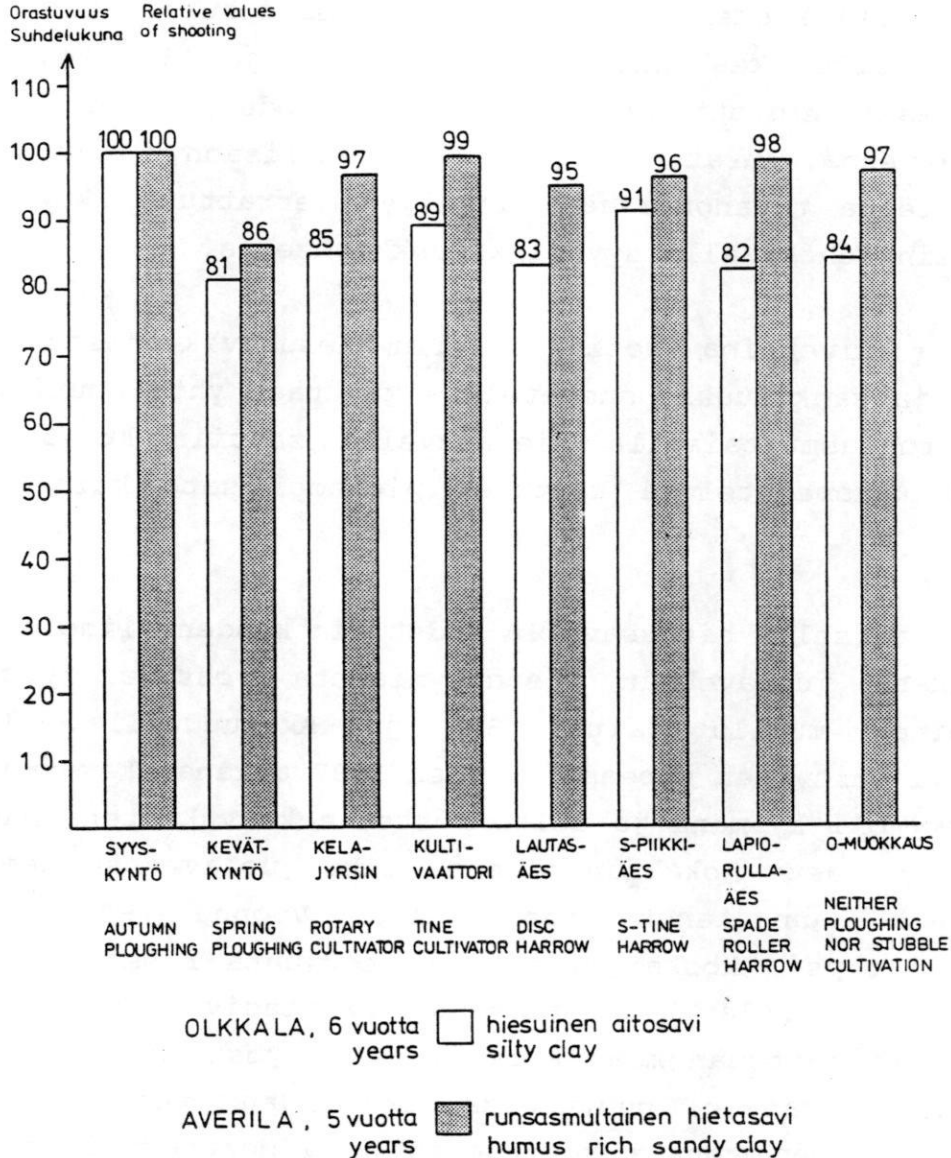
Normaalia kuivempina vuosina saatiin hiesusavikentältä syyskynnön jälkeen ja sänkimuokkausmenetelmiä käyttäen yhtä suuri sato. Sen sijaan runsasmultaisella hietasavella saatiin kuivina vuosina sänkimuokkausmenetelmiä käyttäen pienempi sato kuin syyskynnön jälkeen.

Runsasmultaisella hietasavella todettiin kahden viimeisen koevuoden aikana juolavehnän lisääntymisestä johtuva jyrkkä sadon alentuminen muilla paitsi Sk- ja Kk-ruuduilla. Juolavehnä lisääntyi erityisen nopeasti vuoden 1987 aikana. Kevätvehnän kilpailukyky oli kylmänä ja melko kosteana kasvukautena huono. Sato korjattiin vasta lokakuun alussa, eikä juolavehnän kemialliseen torjuntaan kannattanut enää ryhtyä. Vuonna 1988 koekasviksi valittiin rypsi, koska juolavehnän torjunta rypsikasvustosta on mahdollista. Juolavehnän juurakot haittasivat kuitenkin siinä määrin kyntämättömän maan kylvöä, että rypsi jäi aukkoiseksi ja varjostavan kasvin puuttuessa torjunnan teho oli heikko. Viimeisenä koevuotena 0-koejäsenen sato menetettiin juolavehnän vuoksi lähes kokonaan.

Kynnetyillä koeruuduilla (koejäsenet Sk ja Kk) ei juolavehneä esiintynyt juuri lainkaan. Kynnön tehokkuudesta juolavehnän torjunnassa kertoo myös se, että pahiten juolavehnän saastuttamat 0-ruudut ja lähes puhtaat Sk-ruudut sijaitsivat koekentällä rinnakkain. Sänkimuokkaus jyrsimellä tai kultivaattorilla esti myös melko hyvin juolavehnän lisääntymistä, eikä kemialliseen torjuntaan olisi ollut tarvetta kuin 3 - 5 vuoden välein.

3.2 ORASTUVUUS

Oraiden lukumäärien keskiarvot on esitetty suhdelukuina kuvassa 4. Sk-koejäsenen 6 vuoden keskiarvo hiesusavella oli 468 kpl/m^2 ja 5 vuoden keskiarvo runsasmultaisella hietasavella oli 457 kpl/m^2 .



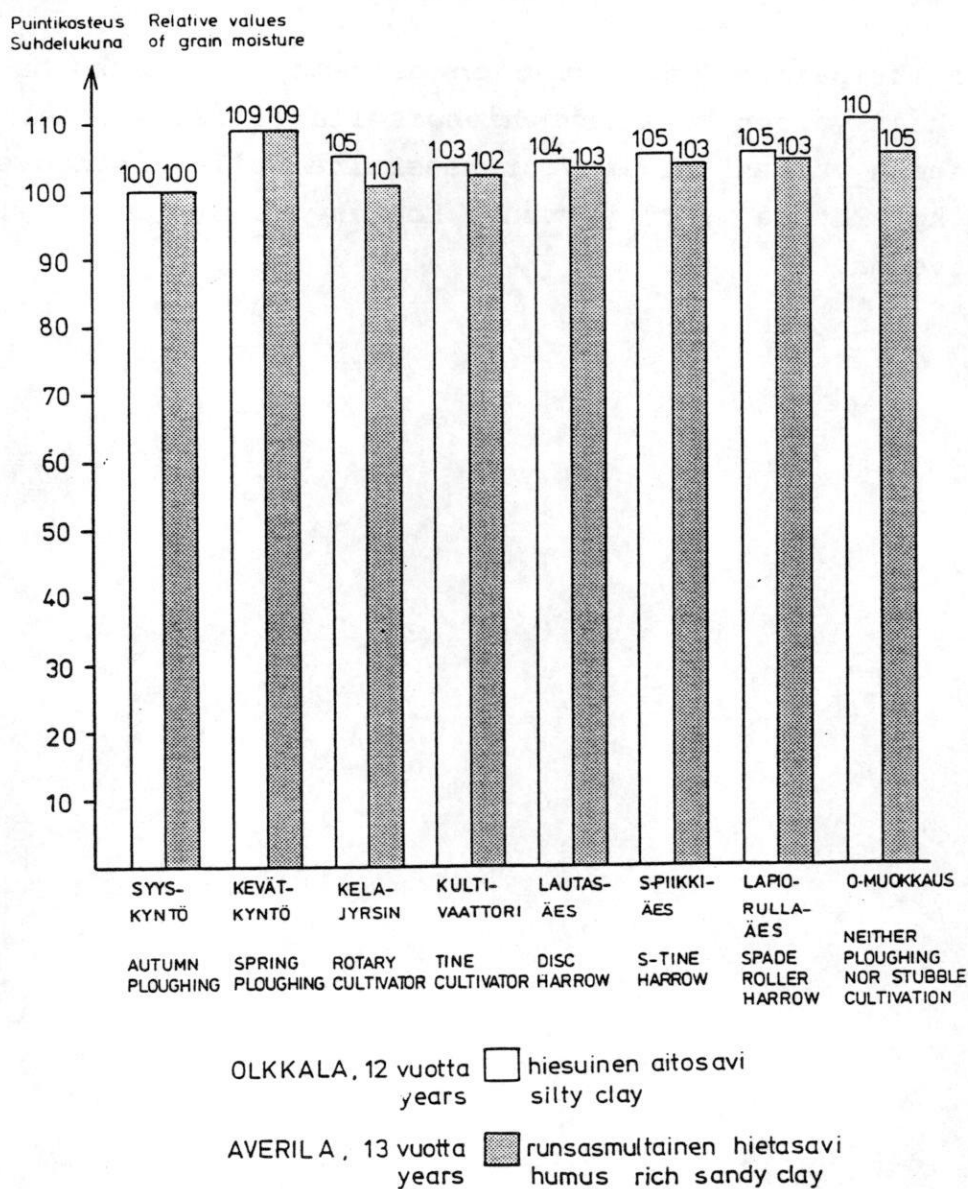
Kuva 4. Orastuvuus suhdelukuina, Sk-koejäsenen suhdeluku on 100.
Figure 4. Relative values of shooting, the relative value of Sk-treatment is 100.

Orastuminen oli runsasmultaisella hietasavella tasaisempaa kuin hiesusavella ja erot koejäsenten välillä olivat pienempiä. Huonoiten orastuivat keväällä kynnetyt koeruudut molemmilla koekentillä. Oraiden määrän perusteella ei kuitenkaan voida ennustaa sadon määrää, ellei kasvustossa ole selviä aukkopaiikkoja.

Esimerkiksi hiesusavella Jy-koejäsenen orastuvuus oli 15 % alempi kuin Sk-koejäsenen, mutta sato oli kuitenkin yhtä suuri.

3.3 PUINTIKOSTEUS

Puintikosteuden keskiarvot on esitetty suhdelukuina kuvassa 5. Sk-koejäsenen 12 vuoden keskiarvo hiesusavella oli 28,6 % ja 13 vuoden keskiarvo runsasmultaisella hietasavella oli 30,9 %.



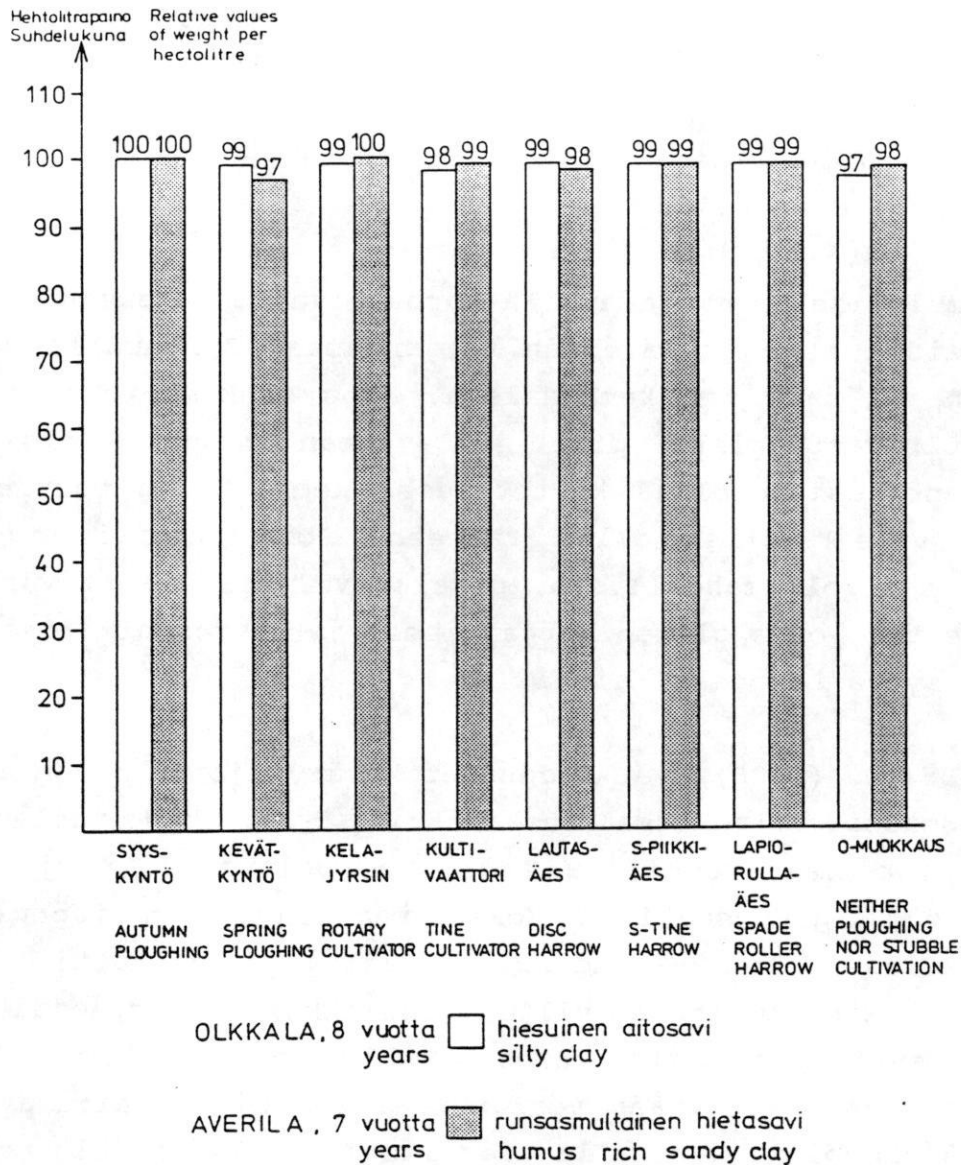
Kuva 5. Puintikosteus suhdelukuina, Sk-koejäsenen suhdeluku on 100.

Figure 5. Relative values of grain moist, the relative value of Sk-treatment is 100.

Kk- ja 0-koejäsenten puintikosteus oli selvästi korkeampi kuin Sk-koejäsenen. Tämä johtunee epätasaisesta orastumisesta sekä 0-koejäsenen kohdalla myös rikkakasvien runsaudesta. Hiesusavella sänkimuokattujen koejäsenten puintikosteus oli 0,9 - 2,9 %-yksikköä korkeampi kuin syyskyntö-koejäsenen ja runsasmultaisella hietasavella 0,3 - 1,5 %-yksikköä korkeampi.

3.4 HEHTOLITRAPAINO

Hehtolitrainon keskiarvot on esitetty suhdelukuina kuvassa 6. Kahdeksan vuoden keskiarvo hiesuisella aitosavella oli 73,2 kg ja seitsemän vuoden keskiarvo runsasmultaisella hietasavella oli 70,2 kg. Yhtenä määrittämysvuonna koekasvina oli ohra, muina vuosina kevätvehnä.



Kuva 6. Hehtolitrapainojen keskiarvot suhdelukuina, Sk-koejäsenen suhdeluku on 100.

Figure 6. Relative values of hl-weights, the relative value of Sk-treatment is 100.

Muokkaustavalla ei ollut mainittavaa vaikutusta hehtolitrapainoon.

4. TULOSTEN TARKASTELU

4.1 SATO, ORASTUVUUS JA SADON LAATU

Hiesusavella sänkimuokkaus jyrsimellä, kultivaattorilla, lautasäkeellä tai S-piikkiäkeellä osoittautui sadon määrän kannalta yhtä hyväksi tai 1 - 2 % huonommaksi menetelmäksi kuin syyskyntö. Kevätkyntö ja syyssänkimuokkauksen poisjättäminen kyntämättömillä ruuduilla olivat huonoimmat vaihtoehdot. Sato aleni syyskyntöön verrattuna 17 - 19 %.

Auraton viljely soveltui runsasmultaiselle hietasavelle huomoin kuin hiesusavelle. Jyrsimellä tai kultivaattorilla tehdyn sänkimuokkauksen jälkeen saatiin 3 % pienempi sato kuin syyskynnön jälkeen. Muiden koejäsenten sato oli 8 - 20 % pienempi kuin syyskynnön jälkeen.

Runsasmultaisella hietasavella korostuivat muokkausmenetelmien ja -välineiden erot juolavehnan torjunnassa. Kyntämällä juolavehnä voitiin torjua ilman kemikaaleja. Myös sänkimuokkaus jyrsimellä tai kultivaattorilla piti juolavehnan hyvin kurissa. Muita sänkimuokkausmenetelmiä käytettäessä kemiallinen torjunta 1 - 3 vuoden välein olisi ollut tarpeen. Jos juolavehnan valikoiva torjunta ei ole mahdollista, pitäisi viljellä riittävän aikaisia lajikkeita, jotta olkien korjaamiseen ja glyfosaattiruiskutuksiin jää syksyllä tarpeeksi aikaa.

PITKÄNEN ym. (1988) ovat todenneet kevätiljojen sadon alentuneen aurattomassa viljelyssä keskimäärin 5 %, kun juolavehnää ei torjuttu kemiallisesti, ja 2 %, kun juolavehnää torjuttiin joka kolmas vuosi glyfosaatilla. Kokeet tehtiin kuutena vuonna kuudella koepaikalla Etelä-Suomessa. Maalaji vaikutti selvästi satotuloksiin. Auratonta viljelytekniikkaa käytettäessä saatiin 3 - 4 % suurempia satoja hiesusavella ja savisilla hiesumailla perinteiseen menetelmään verrattuna. Sen sijaan aitosavella sato oli 6 % alempi ja karkealla hiedalla 10 % alempi kuin perinteistä viljelytekniikkaa käytettäessä. Syynä sadon alentumiseen oli juolavehnan lisääntyminen.

Säätekijöistä alkukesän sademäärä vaikuttaa satoon eniten. Esitettyjen säähavaintojen ja satotulosten perusteella ei kuitenkaan voida tehdä päätelmiä viljelymenetelmien soveltuvuudesta tiettyihin sääoloihin. Ainoastaan erittäin sateisena kesänä 1981 aurattomilla viljelymenetelmillä saatu sato hiesusavella oli selvästi alempi kuin perinteisellä menetelmällä saatu sato.

Hiesusavella orastuvuus oli 10 - 19 % huonompi sänkimuokkauksikäsitelyjen ja kevätkynnön jälkeen kuin syyskynnön jälkeen. Tästä huolimatta Jy-, Ku-, La- ja Sp-koejäsenten sato oli sama tai lähes sama kuin Sk-koejäsenen. Oraiden määrän perusteella ei siten voida tarkoin ennustaa tulevaa satoa. Harvastakin oraasta voidaan saada

hyvä sato, jos oras on tasainen. Tutkimuksissa tulisi siksi kiinnittää enemmän huomiota oraassa olevien aukkojen määrään ja selvittää niiden syntyyn johtaneita syitä. Aurattomien viljelymenetelmien Sk-koejäsentä heikompaan orastuvuuteen hiesusavella johtivat maan huonompi muokkautuminen ja kylvöä haitanneet kasvinjätteet. Muokkauksen ajoittaminen maan kosteuden kannalta parhaaseen ajankohtaan ja kyntämättömän maan kylvöön paremmin soveltuvan kylvökoneen kehittäminen parantaisivat todennäköisesti orastuvuutta kyntämättömällä maalla.

Puintikosteus oli runsasmultaisella hietasavella korkeampi kuin hiesusavella. Erot koejäsenten välillä olivat hiesusavella suu-remmat kuin runsasmultaisella hietasavella. Puintikosteus oli korkein kevätkynnetyillä ja 0-ruuduilla. Tämä johtunee epätasaisesta orastumisesta sekä 0-ruuduilla lisäksi rikkakasvien runsaudesta.

Hehtolitrapainojen erot olivat pieniä. PITKÄNEN ym. (1988) ja EKEBERG ym. (1985) ovat myös todenneet, että hehtolitrapainoissa ei juurikaan ole eroa aurattomien viljelymenetelmien ja tavanomaisen viljelymenetelmän välillä. Juolavehnä saattaa kuitenkin alentaa hehtolitrapainoa, jos sitä esiintyy runsaasti.

Vuosittaista satovaihtelua lisääviä muokkausmenetelmiä olivat kevätkyntö hiesusavimaalla ja auraton viljely ilman sänkimuokkauskestittelyä runsasmultaisella hietasavella.

4.2 KONEIDEN SOVELTUVUUS AURATTOMAAN VILJEYYN

Nykyisin käytössä olevat muokkaus- ja kylvökoneet on suunniteltu kynnetyn maan muokkaamiseen ja kylvämiseen, joten koneiden puutteellinen toiminta haittasi kyntämättömien koejäsenten viljelytoimia. KARA ja RÄISÄNEN (1979) pitivät pahimpana puutteena vantaisten huonoa maahantunkeutumiskykyä. Kyntämättömään maahan kylvettäessä siemenet jäävät helposti matalaan ja karkeamuruinen muokkauskerros kuivahtaa liiaksi haitaten orastumista. Lisäksi sängen jätteet ja roskat kulkeutuvat helposti kiinteäteräisten vantaisten mukana. Parhaiten maahan tunkeutuu etureunasta ohueksi teroitettu vetovannas ja seuraavaksi laahavannas. Kevyehköillä mailla pyöriväteräiset vantaat toimivat varmimmin.

Sänkimuokkauksessa toimivat jyrsin, kultivaattori, lautasäes ja lapiorullaäes häiriöittä. S-piikkiäes sen sijaan tukkeutuu helposti olkisella maalla. Kuivina syksyinä eivät kultivaattori ja lautasäes muokanneet riittävän syvään. Kultivaattorin piikkien tulisi olla maahakuisia ja lautasäkeen riittävän painava. Kokeessa käytetyn lautasäkeen paino oli 25 kg lautasta kohden, mutta kuivissa oloissa painon tulisi olla 50 - 75 kg/lautanen. Kultivaattorissa ja lautasäkeessä pitäisi olla kunnollinen työsyvyyden säätö, ettei muokkaussyvyys vaihtele maan kovuuden muuttuessa. Kelajyrsin on sänkimuokkausvälineenä hidas, vaatii paljon tehoa eikä sovi kiviselle maalle.

S-piikkiäes soveltui koeoloissa tyydyttävästi kyntämättömien koelohkojen kylvömuokkausvälineeksi, mutta käytännön viljelyssä tukkeutuminen on todennäköisesti melkoinen ongelma. Äkeen piikkiakseleiden välin pitäisi olla vähintään 40 cm, piikit olisi jaettava viidelle akselille ja 10 cm:ä tiheämpi piikkijako tulee tuskin kysymykseen. Tutkimuksessa ei kokeiltu tasojyrsintä, mutta se saattaisi olla toimiva muokkausväline kyntämättömän maan muokkauksessa. Jyrsin ei tukkeudu, kylvöalusta saadaan aikaan kerta-ajolla ja muokkaukseen on mahdollista yhdistää kylvö.

Kun otetaan huomioon muokkausvälineen vaikutus satoon, teho juolavehnän torjunnassa sekä soveltuvuus käytännön muokkausoloihin, on sänkimuokkaus kultivaattorilla tai raskaalla lautasäkeellä paras vaihtoehto syyskynnön korvaamiseen.

Kyntöä matalampi, mutta kuitenkin melko tehokas muokkaus estää juolavehnän leviämistä ja vähentää oljesta aiheutuvia vaikeuksia sekä helpottaa kylvömuokkausta keväällä. Saattaisi olla hyödyllistä kehittää muokkausväline, jossa on yhdistetty kultivaattorin kuohkeuttava vaikutus ja lautasäkeen olkea sekoittava vaikutus.

Tämän ja muiden Pohjoismaissa tehtyjen tutkimusten perusteella auraton viljely on osoittautunut varteenotettavaksi vaihtoehdoksi etenkin hiesuilla ja hiesupitoisilla mailla. Aurattoman viljelyn yleistyminen edellyttäisi kuitenkin olkisen maan muokkaamiseen ja kylvämiseen paremmin soveltuvien koneiden kehittämistä.

Muilla maalajeilla syyskynnön lukuisat edut puoltavat edelleenkin perinteistä muokkaustekniikkaa. Tehokas juuririkkakasvien torjunta ja kasvinjätteiden multaaminen ovat näistä eduista merkittävimmät.

5. LÄHDELUETTELO

- ANON. 1975. Ilmastohavainnot 1975. Suomen meteorologinen vuosikirja 75, 1975-1986.
- EDWARDS, C. A. & LOFTY, J. R. 1978. The influence of arthropods and earthworms upon root growth of direct drilled cereals. *J. Appl. Ecol.* 15: 789 - 795.
- EKEBERG, E. 1985. Jordarbeiding host og vår til vårkorn. *Forsk. Fors. Landbr.* 36:133 - 139.
- , 1988. Utbytteresultater og dyrkningsmessige aspekter ved redusert jordarbeiding i Norge. NJF-seminarium i Danmark. Sveriges Lantbr.univ., Uppsala. Rapp. jordbearbetningsavd. 77. p. 154 - 166.
- HAUKKA, J. 1988. Effect of reduced cultivation on earthworms. NJF-seminarium i Danmark. Sveriges Lantbr.univ., Uppsala. Rapp. jordbearbetningsavd. 77. p. 83 - 89.
- KARA, O. & RÄISÄNEN, L. 1979. Maanmuokkauksen minimointi ja kylvö- ja lannoitusvantaiden soveltuvuus kyntämättömään maahan kylvöön. Summary: Minimum tillage and suitability of coulters for sowing on non ploughed soil. *Vakola. Tutkimusselostus* 20. 53 s.
- PITKÄNEN, J. 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. Summary: Effects of ploughless tillage on physical and chemical properties of soil. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 21/88: 62 - 166.
- , ELONEN, P., KANGASMÄKI, T., KÖYLIJÄRVI, J., TALVITIE, H., VIRRI, K. & VUORINEN, M. 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset kevätiljojen satoon ja laatuun. Kuuden koevuoden tulokset. Summary: Effects of ploughless tillage on yield and quality of spring cereals. Results of 6 years. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 21/88: 1 - 61.
- RYDBERG, T. 1986. Markfysikaliska och markkemiska effekter av plöjningsfri odling i Sverige. Sveriges Lantbr.univ., Uppsala. Rapp. jordbearbetningsavd. 70. p. 35.
- , 1988. Några tankar kring den plöjningsfria odlingens framtidsutsikter. NJF-seminarium i Danmark. Sveriges Lantbr.univ., Uppsala. Rapp. jordbearbetningsavd. 77. p. 4 - 7.

JYRKI PITKÄNEN

**PITKÄAIKAISEN AURATTOMAN VILJELYN VAIKUTUKSET HIESUSAVEN
RAKENTEeseen JA VILJAVUUTEEN**

**EFFECTS OF LONG-TERM REDUCED TILLAGE ON STRUCTURE AND
FERTILITY OF A SILTY CLAY SOIL**

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu	
1.	TIIVISTELMÄ	37
	SAMMANFATTNING	39
	SUMMARY	41
2.	JOHDANTO	43
3.	AINEISTO JA MENETELMÄT	44
	3.1 Tutkimuksen koekenttä	44
	3.2 Maanäytteiden otto, maaperäanalyysit ja kenttämittaukset	45
4.	TULOKSET	46
	4.1 Maan fysikaaliset ominaisuudet	46
	4.2 Maan viljavuus	53
5.	TULOSTEN TARKASTELU	57
6.	KIRJALLISUUSLÄHTEET	64

1. Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin 12 vuotta kyntämättä olleen hiesu-savimaan rakennetta ja viljavuutta. Kenttäkokeessa koejäseninä olivat syys- ja kevätkyntö sekä kyntämättömän maan syys-sänkimuokkaus joko kelajyrsimellä, kultivaattorilla, lautasäkeellä, s-piikkiäkeellä tai lapiorullaäkeellä. Lisäksi yhtenä koejäsenenä oli kyntämätön maa, joka ainoastaan kylvömuokattiin keväällä. Oljet kerättiin pois syksyllä. Kaikki koejäsenet kylvömuokattiin keväällä samanaikaisesti s-piikkiäkeellä. Kylvö tehtiin normaalilla kylvölannoittimella.

Kyntämättömän maan ruokamultakerroksen keski- ja alaosan tilavuuspaino sekä mekaaninen vastus olivat suurempia kuin kynetyssä maassa (keskimäärin $0,15 \text{ g/cm}^3$ ja $0,5 \text{ MPa}$). Vuosittain toistunut syys-sänkimuokkaus näytti tiivistäneen maata jonkin verran sänkimuokauskerroksen alapuolelta. Syyskynetyssä maassa jankon tilavuuspaino ja mekaaninen vastus nousivat jyrkästi verrattuna kyntämättömään maahan ja kevätkynnettyyn maahan.

Suuria huokosia ($\varnothing > 30 \mu\text{m}$) oli ruokamultakerroksessa eniten keväällä kynetyssä maassa (20 til.%). Syyskynetyssä maassa sekä kelajyrsimellä, kultivaattorilla tai s-piikkiäkeellä sänkimuokatussa kyntämättömässä maassa suuria huokosia oli keskimäärin saman verran (17 til.%). Jankon yläosassa syyskynetyssä maassa ja kelajyrsimellä sänkimuokatussa maassa makrohuokosia oli yhtä paljon (15 til.%). Kevätkynetyssä maassa sekä kultivaattorilla tai s-piikkiäkeellä sänkimuokatussa kyntämättömässä maassa suuria huokosia oli tässä kerroksessa keskimäärin hieman vähemmän (13 til.%). Molemmissa tutkituissa kerroksissa lautasäkeellä sänkimuokatussa maassa ja sänkimuokkaamattomassa maassa suuria huokosia oli selvästi vähiten.

Maan vedenläpäisevyys oli 0 - 20 cm syvyydessä yhtä suuri syyskynetyssä sekä kultivaattorilla sänkimuokatussa tai sänkimuokkaamattomassa kyntämättömässä maassa. Kelajyrsimellä

sänkimuokatun maan K-arvo oli tässä kerroksessa n. 130 cm/h pienempi kuin muissa tutkituissa koejäsenissä. Kynnetyn maan vedenläpäisevyys oli jankossa (20 - 40 cm) hieman suurempi kuin kyntämättömässä maassa. Ilmeisesti kyntämättömän maan ruokamultakerrokseen oli muodostunut pysyviä, vettä johtavia huokosia (mm. kastelierojen käyttävät). Kelajyrsein syyssänki-muokkauksessa oli saattanut tuhota nämä huokokset.

Kyntämättömän maan pintakerrokseen (0 - 5 cm) oli kertynyt humusta, fosforia ja kaliumia. Kyntämättömän maan jankon fosforipitoisuus oli melko alhainen. Toisaalta magnesium ja kalium olivat siirtyneet kyntämättömässä maassa syvempiin kerrokseen kuin kynnetyssä maassa. Kynnetyn ja kyntämättömän maan pH:ssa ei ollut merkittäviä eroja. Kasvinravitsemuksen kannalta ravinteiden erilaisella jakaantumisella ei ilmeisesti ole merkitystä. Aurattomassa viljelyssä voidaan käyttää sijoituslannoitustekniikkaa ja lisäksi myös sänkimuokkauksella on ravinteita sekoittava vaikutus.

Kyntämätön maa on altis tiivistymään. Jotta kyntämättömyyden edulliset vaikutukset maan viljelyominaisuuksiin (mm. multava pintakerros, parantunut mururakenteen stabiilisuus, vähentynyt evaporaatio ja katkeamaton huokossysteemi) voitaisiin hyödyntää, on maan liikaa tiivistämistä kaikin keinoin vältettävä. Kyntämättömän maan sänki- ja kylvömuokkauksessa on vältettävä märän maan käsittelyä ja minimoitava ajokerrat. Työkoneiden tulisi toimia olkisessa maassa, jotta kyntämättömän maan pinnalle jäävät kasvinjätteet eivät lisäisi muokkaustarvetta ja samalla ajokertoja. Tällöin välttyttäisiin myös olkien poistolta tai poltolta.

1. SAMMANFATTNING

EFFEKTEN AV LÅNGVARIG PLÖJNINGSFRI ODLING PÅ EN MJÄLALERAS STRUKTUR OCH NÄRINGSTILLSTÅND

I undersökningen studerades och jämfördes en mjälaleras struktur och näringstillstånd efter 12 års plöjningsfri odling och efter lika lång tids odling med årlig plöjning. Försöksleden var höstplöjning, vårplöjning samt plöjning ersatt med stubbearbetning på hösten med antingen knivrotorfräs, pinnkultivator, tallriksharv, S-pinneharv eller spad-rullharv. Dessutom utgjordes ett försöksled av oplöjd mark som endast bearbetades med S-pinneharv på våren. Halmen bärgades efter tröskningen. Alla försöksled såbearbetades samtidigt på våren med S-pinneharv. Säden utfördes med kombisåmaskin.

Den plöjningsfria odlingen hade ökat packningen i matjordslagrets mellersta och undre del. Matjordslagrets volymvikt i den plöjningsfritt odlade marken var ca $0,15 \text{ g/cm}^3$ större och mekaniska motstånd ca $0,5 \text{ MPa}$ större än i den plöjda marken. Årligen upprepad stubbearbetning syntes ha packat jorden något under stubbearbetningsskiktet. Alvens densitet och mekaniska motstånd däremot var avgjort mycket större i höstplöjd mark än i oplöjd mark och vårplöjd mark.

Stora porer eller makroporer ($\varnothing > 30 \mu\text{m}$) i matjordslagret fanns det mest av i vårplöjd mark (20 vol. %). Höstplöjd mark och med knivrotorfräs, kultivator eller S-pinneharv stubbearbetad mark innehöll alla i medeltal lika mycket makroporer i matjordslagret (17 vol. %). I alvens övre del fanns det lika mycket makroporer i höstplöjd och med knivrotorfräs stubbearbetad mark (15 vol. %). Vårplöjd och med kultivator eller S-pinneharv stubbearbetad mark innehöll i detta skikt i medeltal litet mindre makroporer (13 vol. %). I båda de studerade skikten fanns det klart minst makroporer i sådan mark, som stubbearbetats med tallriksharv eller inte stubbearbetats eller plöjts alls.

Markens vattengenomsläpplighet var på 0-20 cm djup lika stor i höstplöjd och med kultivator stubbearbetad mark samt i oplöjd, icke stubbearbetad mark. Med knivrotorfräs stubbearbetad mark hade i detta skikt ca 130 cm/h mindre vattengenomsläpplighet än de övriga försöksleden. Tydligt hade det i matjordslagret av oplöjd mark bildats permanenta, vattenledande porer (bl.a. dagmaskgångar), som knivrotorfräsen kan ha förstört. Plöjd marks vattengenomsläpplighet i alven (20-40 cm) var något större än oplöjd marks.

I ytskiktet (0-5 cm) på oplöjd mark hade det anrikats humus, fosfor och kalium. Alvens fosforhalt i oplöjd mark var rätt låg. Å andra sidan hade magnesium- och kalciuminnehållet i oplöjd mark lokaliserat sig till djupare skikt än i plöjd mark. Beträffande pH fanns inga skillnader av betydelse mellan plöjd och oplöjd mark. Den annorlunda distributionen av näring i de olika odlingsmetoderna har knappast någon betydelse för växternas näringsförsörjning. Också i plöjningsfri odling kan man använda gödselplaceringsteknik och dessutom har stubbearbetningen en omblandande effekt. Dessa åtgärder gör näringen tillgänglig för växtrötterna.

Oplöjd mark är utsatt för packningsrisk. För att man skall komma i åtnjutande av den plöjningsfria odlingens fördelar (bl.a. mullrikt ytskikt, stabilare grynstruktur, minskad avdunstning och ett obrutet porsystem), måste för stor markpackning med alla medel undvikas. Vid stubb- och såbäddsbearbetning måste man undvika körning på våt mark och minimera antalet körgångar. Bearbetningsredskapen borde fungera också i halmtäckt mark, så att inte växtresterna ökar bearbetningsbehovet och därmed körgångerna. Då slipper man samtidigt också arbetet med att bärga eller bränna halmen.

1. Summary

EFFECTS OF LONG-TERM REDUCED TILLAGE ON THE STRUCTURE AND THE FERTILITY OF A SILTY CLAY SOIL

The physical and chemical properties of a silty clay soil, after 12 years of reduced tillage, were examined. Autumn ploughing was replaced either by spring ploughing or by unploughed treatments. In the unploughed plots stubble cultivation was done in the autumn either with a PTO-driven rotary cultivator, a tine cultivator, a disk harrow, an s-tine harrow or a spade roller harrow. There was also an unploughed plot without any stubble cultivation. The straw was removed after harvesting. Seedbed preparation in the spring was carried out with an s-tine harrow. Fertilizer placement technique was used in sowing.

Ploughless tillage increased compaction in the middle and lower layers of topsoil. In the unploughed topsoil the soil bulk density had increased on the average by $0,15 \text{ g/cm}^3$ and the penetrometer resistance by $0,5 \text{ MPa}$. In the stubble cultivated plots a compacted layer could be found. Compared with other treatments autumn ploughing increased the bulk density and penetrometer resistance sharply in the subsoil layer.

The amount of macropores ($\varnothing > 30 \mu\text{m}$) in the topsoil was highest (20 vol.%) in spring ploughed soil. In autumn ploughed soil and in unploughed soil cultivated either with a rotary cultivator, a tine cultivator or an s-tine harrow the amount of macropores was on the average 17 vol.%. In the upper subsoil the amount of macropores was highest (15 vol.%) in autumn ploughed soil and in unploughed soil cultivated with a rotary cultivator. In spring ploughed soil and in unploughed soil cultivated either with a tine cultivator or an s-tine harrow there were 13 vol.% of macropores in this layer. Both in the topsoil and in the upper subsoil the amount of macro-

pores was lowest in such an unploughed soil which was either stubble cultivated with a disk harrow or where no stubble cultivation was done.

In the topsoil the water infiltration was highest in autumn ploughed soil and in such an unploughed soil which was either cultivated with a tine cultivator or where no stubble cultivation was done. Compared to these treatments the water infiltration was about 130 cm/h lower in soil which was stubble cultivated with a rotary cultivator. In the subsoil the water infiltration was slightly higher in ploughed soil than in unploughed soil. Obviously, there were continuous pores (e.g. earthworm channels) in the toplayer of unploughed soil, through which water could pass. Using a rotary cultivator in stubble cultivation in the autumn probably destroyed these pores.

There were increased amounts of organic matter, phosphorus and potassium in the toplayer (0 - 5 cm) of unploughed soil. The amount of phosphorus was quite low in the subsoil of unploughed field. On the other hand, contents of magnesium and calcium were high in the lower layers of unploughed soil. There were no significant differences between the effects of tillage methods on soil pH. In terms of plant nutrition the movements of main nutrients in reduced tillage are probably not very important. Stubble cultivation has a mixing effect on nutrients. In reduced tillage a fertilizer placement technique can be used. These measures make nutrients reachable for plant roots.

There is an increased risk of compaction damage in reduced tillage. In order to obtain the positive effects of reduced tillage on soil structure (increased organic matter content and aggregate stability in the topsoil, improved water balance and continuous poresystem), cultivation of moist soil and unnecessary field traffic must be avoided. Tillage machinery should be suitable for working in straw on unploughed soil. This kind of machines would reduce field traffic connected with cultivation and solve problems with straw management.

2. Johdanto

Pohjoismaisissa aurattoman viljelyn tutkimuksissa, joissa kyntö on korvattu sänkimuokkauksella, kevätiljojen sato on ollut samansuuruinen tai jonkinverran pienempi kuin tavanomaisessa viljelyssä. Aurattoman viljelyn ongelmaksi on osoittautunut juuririkkakasvien leviäminen. Lisäksi edellisen sadon kasvinjätteet ovat haitanneet kyntämättömän maan kylvömuokkausta. Myös oikean esikasvin merkitys on korostunut eräissä kokeissa (mm. RASMUSSEN 1982, RASMUSSEN ja OLSEN 1983, RILEY 1983, 1985, MARTI 1984, RYDBERG 1982, 1987, PITKÄNEN ym. 1988).

Parhaiten kevätiljojen auraton viljely on menestynyt hiesumailla, joiden savespitoisuus on ollut 15 - 35 %. (MARTI 1984, RYDBERG 1987, PITKÄNEN ym. 1988). Suomalaisessa tutkimuksessa myös hiesusavi, jonka savespitoisuus oli lähes 50 %, antoi hyvän tuloksen (PITKÄNEN ym. 1988). Kynnöstä luopuminen on lisännyt maan pintaosan orgaanisen aineksen pitoisuutta, ja samalla mururakenteen stabiilisuus on parantunut. Tästä on ollut hyötyä heikkorakenteisilla hiesumailla (MARTI 1984, RILEY ym. 1985, RYDBERG 1986, PITKÄNEN 1988). Lisäksi maan pintaosan orgaaninen aines ja edellisen sadon kasvinjätteet ovat vähentäneet evaporaatiota, joka on ollut myös eduksi poutivilla hiesumailla (RYDBERG 1986, RYDBERG ja ÖCKERMAN 1987, PITKÄNEN 1988).

Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitoksella (VAKOLA) perustettiin vuosina 1974 ja 1975 minimimuokkauskenttäkokeet hiesusavelle ja multavalle hietasavelle (KARA ja RÄISÄNEN 1979). Kokeessa verrattiin syys- ja kevätkyntöä kyntämättä viljelyyn. Kyntämätön maa sänkimuokattiin syksyllä käyttäen erilaisia sänkimuokkaimia. Keski- ja loppukesällä 1987, 12 koevuoden jälkeen, Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTTK) maanviljelyskemian ja -fysiikan osaston johdolla tutkittiin hiesusavikoekentän maaperän ominaisuuksia. Tutkimuksessa selvitettiin maan rakennetta ja viljavuutta pitkäaikaisen kyntämättä viljelyn jälkeen.

3. Aineisto ja menetelmät

3.1. Tutkimuksen koekenttä

Koejäsenenä kenttäkokeessa olivat syys- ja kevätkyntö sekä kyntämättömän maan syyssänkimuokkaus joko kelajyrsimellä, kultivaattorilla, lautasäkeellä, s-piikkiäkeellä tai lapiorullaäkeellä. Lisäksi yhtenä koejäsenenä oli kyntämätön maa, joka ainoastaan kylvömuokattiin keväällä. Oljet kerättiin pois sadonkorjuun jälkeen. Kaikki koejäsenet kylvömuokattiin keväällä samanaikaisesti s-piikkiäkeellä. Kerranteita oli viisi. Tarkemmin koejärjestelyjä ovat kuvailleet KARA ja RÄISÄNEN (1979). Koekentän viimeinen satovuosi oli vuonna 1986, joten koekenttä oli kesantona kesällä 1987. Syyskyntö ja sänkimuokkaukset oli tehty viimeisen kerran syksyllä 1985 ja kevätkyntö keväällä 1986. Tulokset perustuvat kolmesta kerranteesta otettuihin maanäytteisiin ja kenttämittauksiin. Penetrometrimittaukset tehtiin kaikilta viideltä kerranteelta.

Koekentän maalajin määrittämiseksi otettiin 7 kerrosmaanäytettä 0 - 20 ja 20 - 40 cm syvyydestä. Maalajitekoostumus määritettiin ELOSEN (1971) pipettimenetelmällä MTTK:n maantutkimusosastolla. Koekentän maalaji oli sekä ruokamultakeroksessa että jankossa hiesusavi, jonka savespitoisuus oli huomattavan korkea.

Taulukko 1. Koekentän maalajitekoostumus (%).
Table 1. Soil texture of the experimental field (%).

	lajite / particle size (mm)				
	<0,002	0,002- 0,02	0,02- 0,06	0,06- 0,2	0,2- 2
0 - 20 cm	53,5	32,4	6,9	2,8	5,6
20 - 40 cm	53,2	31,8	7,1	3,0	5,9

3.2. Maanäytteiden otto, maaperäanalyysit ja kenttämittaukset

Jokaisesta koeruudusta otettiin kerrosmaanäytteitä, joista määritettiin maan tilavuuspaino, humuspitoisuus ja viljavuus. Maanäytteiden otossa käytettiin 400 cm³ kerrosmaanäytekairaa, jolla otettiin kerrosnäytteitä 0 - 35 cm syvyydestä 2,5 cm välein. Kustakin koeruudusta otettiin 0 - 17,5 cm syvyydestä 5 pistoa ja 17,5 - 35 cm syvyydestä 3 pistoa. Samaa syvyyttä edustavat 2,5 cm kerrokset yhdistettiin viljavuusnäyterasioihin. Maanäytteet punnittiin rasioineen. Näytteet saivat kuivua rasioissaan ilmakeiviksi, jonka jälkeen ne punnittiin. Muutamasta näytteestä määritettiin ilmakeivan maan kuiva-ainepitoisuus.

Tilavuuspaino saatiin laskettua kaavasta:

$$\text{Tilavuuspaino} = b \cdot c \cdot 100^{-2} / \text{maakerroksen tilavuus (g/cm}^3\text{)},$$
jossa b = maakerroksen ilmakeivapaino ja c = ilmakeivan maan kuiva-aineprosentti.

Maanäytteiden orgaaninen hiili ja viljavuus määritettiin maantutkimusosastolla. Orgaaninen hiili määritettiin SIPPOLAN (1982) kuvaamalla kuivapolttomenetelmällä (LECO CR-12). Humuspitoisuuksiksi orgaanisen hiilen arvot muutettiin käyttämällä kerrointa 1,724 (ALLISON 1969). Maan pH mitattiin maa-
vesi -suspensiosta (1:2,5 v/v). Maan ravinnetila määritettiin ammoniumasetaatin avulla (pH 4,65) (VUORINEN ja MÄKITIE 1955).

Maan suurten huokosten määrittämiseksi otettiin lieriömaanäytteitä 10 - 15 cm ja 30 - 35 cm syvyydestä kustakin koeruudusta 4 kpl/syvyys. Lieriön tilavuus oli 200 cm³. Lapiorullaäeskoeruutuja ei tutkittu. Laboratoriossa määritettiin maan huokossuhteet kenttäkapasiteetissa (pF 2) ylipainemenetelmällä (mm. LEAMER ja LUTZ 1940, RICHARDS 1948, 1949).

Maan mekaaninen vastus mitattiin koeruuduittain penetrometrin avulla. Käytetyllä penetrometrillä voitiin mekaaninen vastus

mitata 3,5 cm välein 0 - 52,5 cm syvyydestä. Mekaaninen vastus ilmaistaan paineen yksikkönä (ANON 1979, ANDERSON ym. 1980). Mittauksia tehtiin 8 kpl/koeruutu.

Maan vedenläpäisykyky mitattiin syyskyntö-, kelajyrsin-, kultivaattori- ja 0- (sänkimuokkaamaton) koejäsenistä. Mittaus suoritettiin 0 - 17 cm syvyydessä infiltrometrin (\varnothing 30 cm) avulla (BOUWER 1986) ja 20 - 40 cm syvyydessä ns. käännettyä auger hole -menetelmää (ANON. 1983) käyttäen. Tulokset esitetään K-arvoina (cm/h). Mittauksia tehtiin infiltrometrillä ja auger hole -menetelmällä 2 kpl/koeruutu.

Aineiston tilastollinen käsittely: Tilastollisen käsittelyn kannalta koekenttä oli vajavainen: koejäsenet olivat systemaattisesti samassa järjestyksessä jokaisessa kerranteessa. Aineistolle tehtiin kuitenkin varianssianalyysi satunnaistettujen lohkojen -menetelmää käyttäen. Tulosten tarkastelussa keskityttiin tilastollisten vajavaisuuksien vuoksi lähinnä keskiarvojen ja hajontojen vertaamiseen. Laskennassa käytettiin SPSSX-ohjelmia (ANON. 1986).

4. Tulokset

4.1. Maan fysikaaliset ominaisuudet

Maan tilavuuspaino: Keväällä kynnetyn maan tilavuuspaino oli pienin 5 - 35 cm syvyydessä. Tilavuuspaino erosi kyntämättömien koejäsenien tilavuuspainoista 0,01 - 0,24 g/cm³. Tilavuuspainoero oli tilastollisesti merkitsevä 10 - 15 cm (lautasäes, s-piikkiäes, lapiorullaäes), 15 - 22,5 cm (kelajyrsin, kultivaattori, lautasäes, lapiorullaäes) ja 27,5 - 35 cm syvyydessä (kelajyrsin, lapiorullaäes, sänkimuokkaamaton).

Syksyllä kynnetyn maan tilavuuspaino oli jonkinverran korkeampi kuin keväällä kynnetyn maan tilavuuspaino. Syyskynnetyn maan tilavuuspaino oli pienempi kuin kyntämättömän maan tilavuuspaino 10 - 27,5 cm syvyydessä (0,01 - 0,15 g/cm³). Syvemmillä kynnetyn maan tilavuuspaino oli samansuuruinen kuin kyntämättömän maan tilavuuspaino keskimäärin.

Taulukko 2. Maan tilavuuspaino (g/cm^3). Sk = syyskyntö, Kk = kevätkyntö, Jy = kelajyrsin, Ku = kultivaattori, La = lautasäes, Sp = s-piikkiäes, Lr = lapiorullaäes, 0 = sänkimuokkaamaton, w = Tukeyn testin pienin merkitsevä ero (5 %).

Table 2. Soil bulk density (g/cm^3). Sk = autumn ploughing, Kk = spring ploughing, unploughed treatments: Jy = rotary cultivator (pto), Ku = tine cultivator, La = disc harrow, Sp = s-tine harrow, Lr = rotary tiller, 0 = no stubble cultivation, w = LSD by Tukey (5 %).

	Sk	Kk	Jy	Ku	La	Sp	Lr	0	w
Syvyys cm									
0 - 5	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	1,05	0,89	1,03	n.s.
5 - 10	1,14	1,14	1,15	1,19	1,21	1,17	1,20	1,14	n.s.
10 - 15	1,15	1,10	1,25	1,25	1,30	1,11	1,29	1,12	0,18
15 - 22,5	1,21	1,12	1,31	1,34	1,32	1,27	1,36	1,22	0,18
22,5 - 27,5	1,22	1,18	1,34	1,32	1,28	1,27	1,34	1,32	n.s.
27,5 - 35	1,34	1,21	1,36	1,35	1,27	1,28	1,37	1,37	0,15

Lautasäes- ja lapiorullakoejäsenien tilavuuspainot nousivat melko jyrkästi 10 - 15 cm syvyydessä. Kelajyrsimellä ja kultivaattorilla sänkimuokattujen maiden tilavuuspaino nousi samansuuruisiksi lautasäes- ja lapiorullaäeskoejäseniin verrattuna 15 - 22,5 cm syvyydessä. S-piikkiäkeellä sänkimuokattun maan tilavuuspaino nousi 15 - 22,5 cm syvyydessä melko jyrkästi. Se jäi kuitenkin pienemmäksi kuin muiden kyntämättömien koejäsenten tilavuuspaino, lukuunottamatta lautasäkeellä sänkimuokattua maata, jonka tilavuuspaino aleni 22,5 - 27,5 cm syvyydessä.

Sänkimuokkaamattoman (0), kyntämättömän maan tilavuuspaino muuttui hieman eri tavalla kuin muissa kyntämättömissä koejäsenissä. Tilavuuspaino nousi melko tasaisesti aina 22,5 cm syvyyteen asti. Syvemällä tilavuuspaino nousi kuitenkin jyrkästi.

Maan mekaanisessa vastuksessa ei ollut suuria eroja 0 - 7 cm syvyydessä eri koejäsenien välillä. Ruokamultakerroksen puolivälissä kyntämättömän maan mekaaninen vastus lisääntyi voimakkaasti sänkimuokkaamattomassa maassa sekä lautasäkeellä, s-piikkiäkeellä ja lapiorullaäkeellä sänkimuokatuissa maissa. Tässä kerroksessa sänkimuokkaamattoman maan mekaaninen vastus

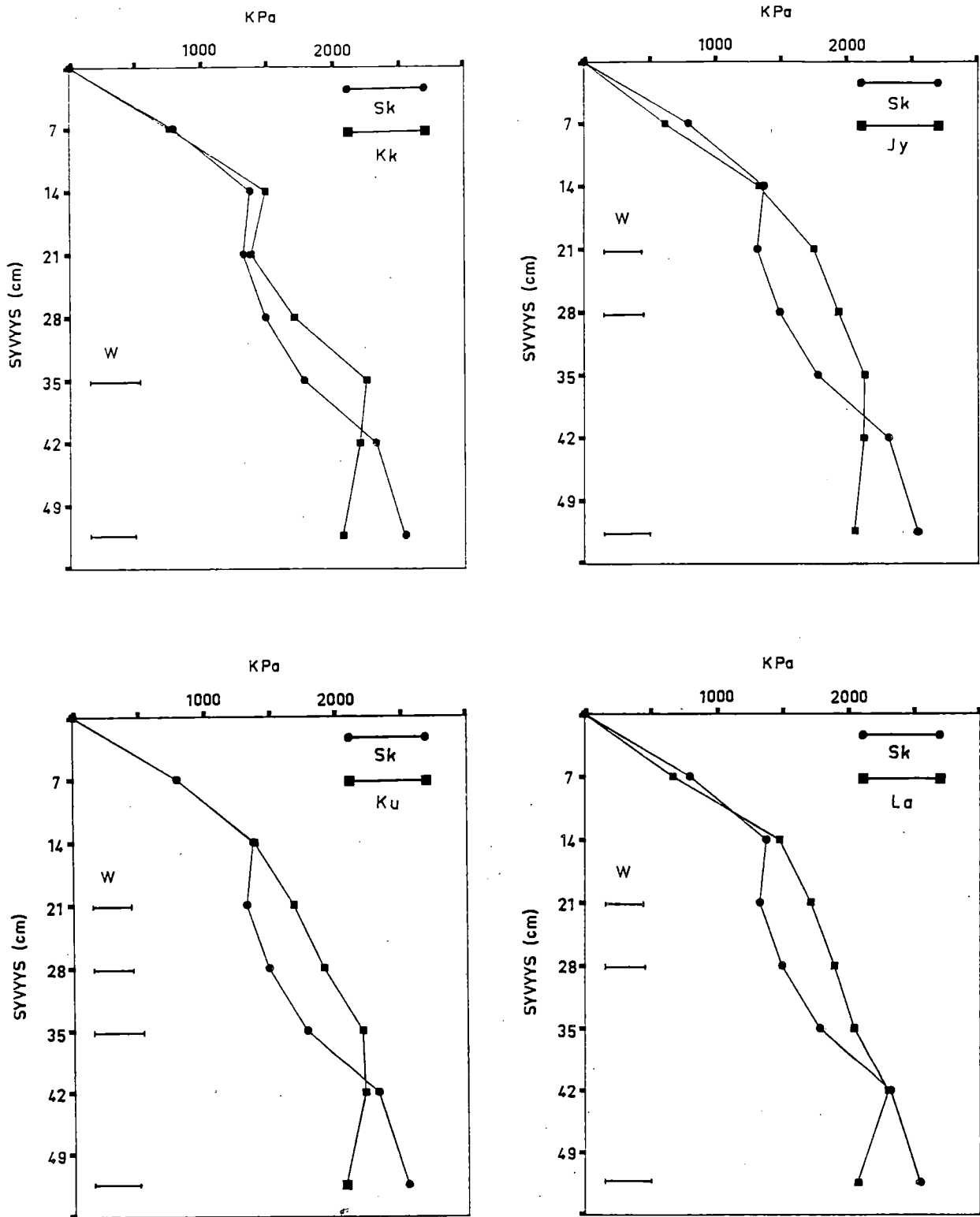
oli suurin, eroten merkitsevästi muista koejäsenistä. Ruokamultakerroksen alaosassa kyntämättömän maan mekaaninen vastus oli merkitsevästi suurempi kuin kynnetyissä maassa.

Taulukko 3. Maan mekaaninen vastus (kPa). Sk = syyskyntö, Kk = kevätkyntö, Jy = kelajyrsin, Ku = kultivaattori, La = lautasäes, Sp = s-piikkiäes, Lr = lapiorullaäes, 0 = sänki-muokkaamaton, w = Tukeyn testin pienin merkitsevä ero (5 %).
Table 3. Penetrometer resistance (kPa). Sk = autumn ploughing, Kk = spring ploughing, unploughed treatments: Jy = rotary cultivator (pto), Ku = tine cultivator, La = disc harrow, Sp = s-tine harrow, Lr = rotary tiller, 0 = no stubble cultivation, w = LSD by Tukey (5 %).

	Sk	Kk	Jy	Ku	La	Sp	Lr	0	w
Syvyys cm									
0 - 7	790	760	610	790	660	820	740	980	n.s.
7 - 14	1370	1490	1330	1380	1470	1630	1570	1890	300
14 - 21	1320	1380	1750	1680	1710	1810	1810	1940	290
21 - 28	1490	1710	1940	1910	1890	1880	1960	2060	310
28 - 35	1780	2250	2140	2200	2040	2110	2260	2350	390
35 - 42	2320	2200	2130	2220	2300	2230	2240	2250	n.s.
42 - 52,5	2520	2060	2070	2060	2070	2100	2240	2270	340

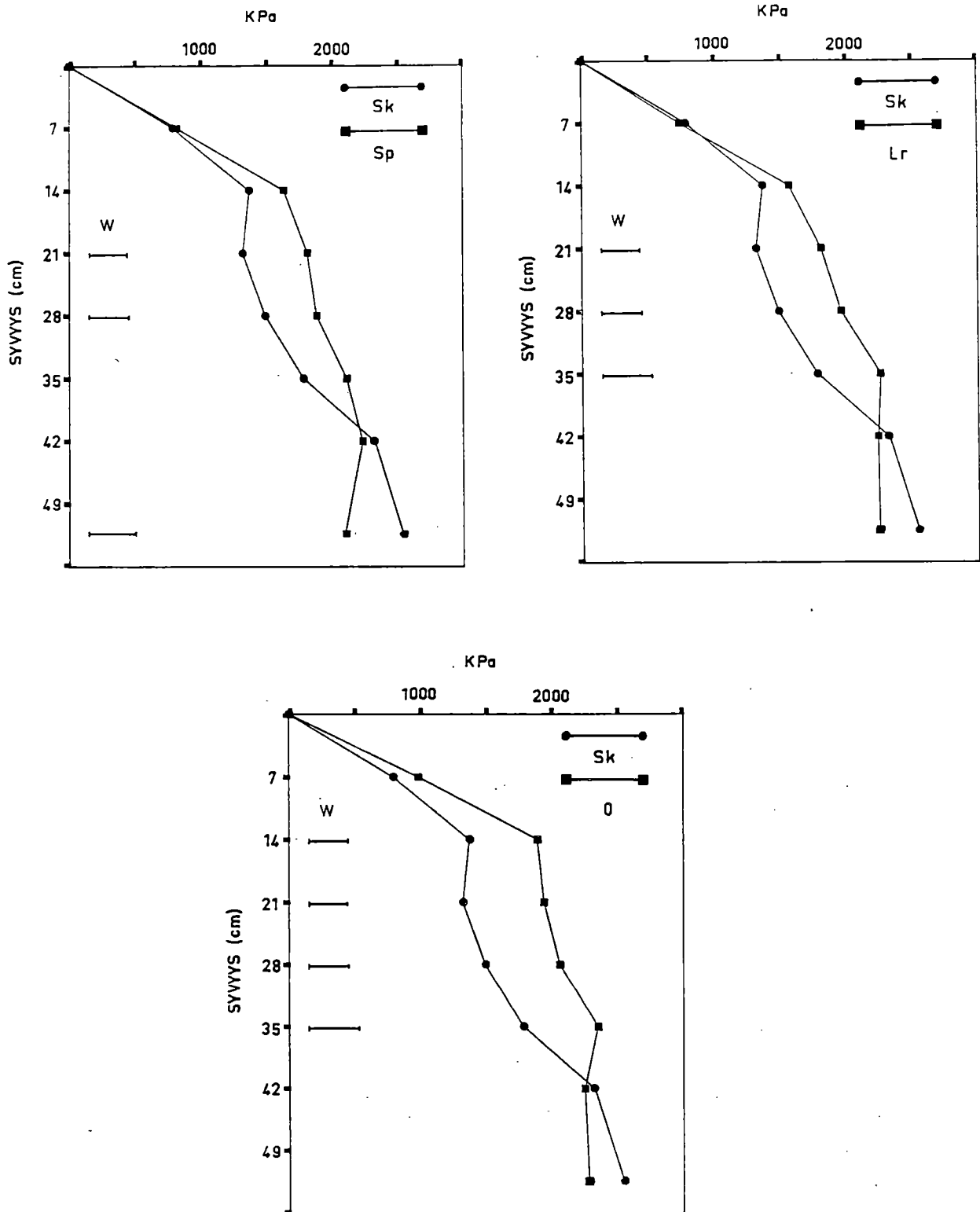
Kyntösyvyydessä ja jankon ylimmässä kerroksessa (21 - 28 cm) kyntämättömän maan mekaaninen vastus oli edelleen merkitsevästi suurempi kuin syyskynnetyn maan mekaaninen vastus. Keväällä kynnetyn maan mekaaninen vastus nousi tässä kerroksessa melko jyrkästi. Syvemmällä, 28 - 35 cm syvyydessä, keväällä kynnetyn maan mekaaninen vastus oli yhtä suuri kuin kyntämättömän maan mekaaninen vastus. Syyskynnetyn maan mekaaninen vastus oli tässä kerroksessa edelleen selvästi pienin, eroten merkitsevästi kevätkyntö-, kultivaattori-, lapiorullaäes- ja 0-koejäseniin verrattuna.

Syksyllä kynnetyn maan mekaaninen vastus nousi jyrkästi 35 - 42 cm syvyydessä. Eri koejäsenien maan mekaaninen vastus oli tässä syvyydessä lähes samansuuruinen. Syvemmällä syyskynnetyn maan mekaaninen vastus kasvoi edelleen. Syyskynnetyn maan mekaaninen vastus olikin selvästi suurin viimeisessä kerroksessa. Tilastollisesti merkitsevästi syyskynnetyn maan mekaa-



Kuva 2. Maan mekaaninen vastus (kPa). Sk = syyskyntö, Kk = kevätkyntö, Jy = kelajyrsein, Ku = kultivaattori, La = lautasäes, w = Tukeyn testin pienin merkitsevä ero (5 %).

Fig. 2. Penetrometer resistance (kPa). Sk = autumn ploughing, Kk = spring ploughing, unploughed treatments: Jy = rotary cultivator (pto), Ku = tine cultivator, La = disk harrow, w = LSD by Tukey (5 %).



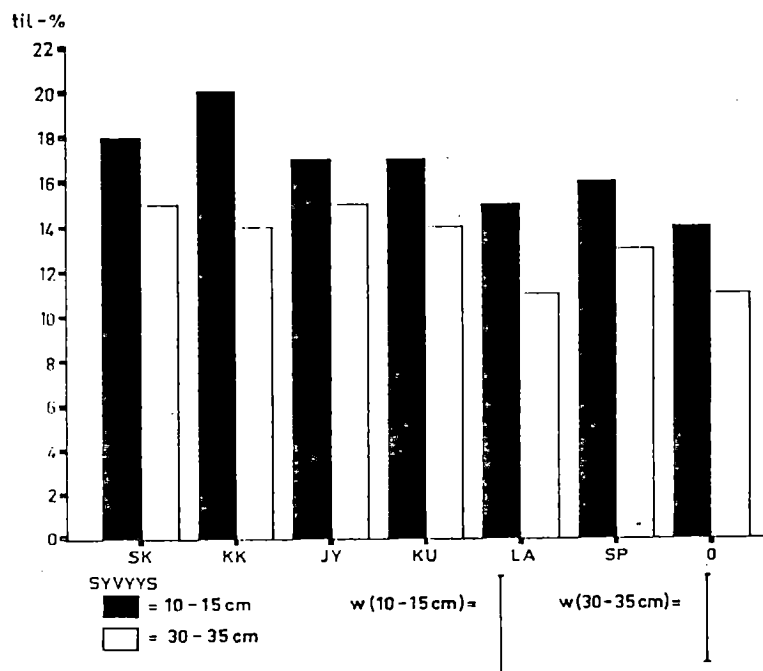
Kuva 3. Maan mekaaninen vastus (kPa). Sk = syyskyntö, Sp = s-piikkiäes, Lr = lapiorullaäes, 0 = sänkimuokkaamaton, w = Tukeyn testin pienin merkitsevä ero (5 %).

Fig. 3. Penetrometer resistance (kPa). Sk = autumn ploughing, unploughed treatments: Sp = s-tine harrow, Lr = rotary tiller, 0 = no stubble cultivation, w = LSD by Tukey (5 %).

ninen vastus erosi tässä syvyydessä kevätkynnetyn maan sekä kelajyrsimellä, kultivaattorilla, lautasäkeellä ja s-piikkiäkeellä sänkimuokattujen maiden mekaanisesta vastuksesta.

Suuria huokosia ($\phi > 30 \mu\text{m}$) oli eniten keväällä kynnetyssä maassa 10 - 15 cm syvyydessä (20 til.%). Tilastollisesti merkitsevästi kevätkynnetyn maan makrohuokosten osuus erosi tässä syvyydessä lautasäes- ja 0-koejäsenistä.

Myös syksyllä kynnetyssä maassa suurten huokosten määrä (18 til.%) oli suurempi kuin kyntämättömässä maassa 10 - 15 cm syvyydessä. Ero ei kuitenkaan ollut merkitsevä. Kyntämättömistä koejäsenistä kelajyrsimellä sänkimuokatussa maassa oli eniten makrohuokosia (17 til.%) ja lautasäkeellä sänkimuokatussa sekä sänkimuokkaamattomassa maassa (14 til.%) vähiten.



Kuva 1. Maan suurten huokosten ($\phi > 30 \mu\text{m}$) määrä tilavuusprosentteina. Sk = syyskyntö, Kk = kevätkyntö, Jy = kelajyrsin, Ku = kultivaattori, La = lautasäes, Sp = s-piikkiäes, 0 = sänkimuokkaamaton, w = Tukeyn testin pienin merkitsevä ero (5 %).

Fig. 1. Distribution of soil macropores ($\phi > 30 \mu\text{m}$, vol.%). Sk = autumn ploughing, Kk = spring ploughing, unploughed treatments: Jy = rotary cultivator (pto), Ku = tine cultivator, La = disc harrow, Sp = s-tine harrow, 0 = no stubble cultivation, w = LSD by Tukey (5 %).

Syvemmillä (30 - 35 cm) syyskynnetyissä maassa ja kelajyrsimellä sänkimuokatussa maassa oli eniten makrohuokosia (15 til.%). Tilastollisesti ero oli merkitsevä lautasäkeellä sänkimuokattuun maahan ja sänkimuokkaamattomaan maahan verrattuna. Lautasäkeellä sänkimuokatussa maassa ja sänkimuokkaamattomassa maassa olikin selvästi vähemmän suuria huokosia kuin muissa koejäsenissä (11 til.%). Kevätkynnetyissä maassa suurten huokosten osuus aleni jyrkimmin tässä kerroksessa.

Maan vedenläpäisevyyssmittaukset: Tutkituista koejäsenistä kelajyrsimellä sänkimuokatussa maassa oli selvästi alhaisin vedenläpäisykyky 0 - 20 cm syvyydessä. Sänkimuokkaamattomassa maassa ja kultivaattorilla sänkimuokatussa maassa oli lähes yhtä suuri vedenläpäisykyky kuin syksyllä kynnetyissä maassa. Syvemmillä (20 - 40 cm) maan vedenläpäisykyky aleni jyrkästi. Syyskynnetyissä maassa oli merkitsevästi suurempi vedenläpäisykyky kuin kyntämättömässä maassa. Kyntämättömien koejäsenien K-arvot olivat samansuuruiset.

Taulukko 4. Maan vedenläpäisevyys, K (cm/h). Mittauksissa käytettiin infiltrometriä (0 - 20 cm) ja "käännettyä" auger hole -menetelmää (20 - 40 cm). Sk = syyskyntö, Jy = kelajyrsin, Ku = kultivaattori, 0 = sänkimuokkaamaton, w = Tukeyn testin pienin merkitsevä ero (5 %).

Table 4. Measurements of hydraulic conductivity, K (cm/h), using infiltrometer (0 - 20 cm) and reverse auger hole -method (20 - 40 cm). Sk = ploughing, unploughed treatments: Jy = rotary cultivator (pto), Ku = tine cultivator, 0 = no stubble cultivation, w = LSD by Tukey (5 %).

	Sk	Jy	Ku	0	w
Syvyys cm					
0 - 20	226,5	73,3	181,0	202,8	n.s.
20 - 40	2,3	0,3	0,1	0,2	2,0

4.2. Maan viljavuus

Kyntämättömässä maassa oli pintakerroksessa (0 - 5 cm) enemmän orgaanista ainesta kuin kynnetyissä maassa (n. 0,8 prosenttiyks.). Seuraavissa kahdessa kerroksessa (5 - 15 cm) erot humuspitoisuuksissa eri koejäsenten välillä tasoittuivat. Syvemmällä kynnetyissä maassa oli enemmän humusta kuin kyntämättömässä maassa. Viimeisessä tutkitussa kerroksessa syksyllä kynnetyn maan humuspitoisuus oli merkitsevästi suurempi kuin kyntämättömän maan humuspitoisuus.

Taulukko 5. Maan humuspitoisuus (%). Sk = syyskyntö, Kk = kevätkyntö, Jy = kelajyrsin, Ku = kultivaattori, La = lautasaes, Sp = s-piikkiäes, Lr = lapiorullaäes, 0 = sänkimuokkamatton, w = Tukeyn testin pienin merkitsevä ero (5 %).

Table 5. Organic matter content (%). Sk = autumn ploughing, Kk = spring ploughing, unploughed treatments: Jy = rotary cultivator (pto), Ku = tine cultivator, La = disc harrow, Sp = s-tine harrow, Lr = rotary tiller, 0 = no stubble cultivation, w = LSD by Tukey (5 %).

	Sk	Kk	Jy	Ku	La	Sp	Lr	0	w
Syvyys cm									
0 - 5	5,0	5,0	5,7	5,5	6,0	5,9	6,1	5,8	0,9
5 - 10	5,0	4,8	5,3	5,2	5,3	5,2	5,4	5,2	n.s.
10 - 15	4,8	4,9	4,5	4,7	4,6	4,5	4,7	4,6	n.s.
15 - 22,5	4,9	4,8	4,0	4,3	4,2	4,2	4,4	4,3	0,8
22,5 - 27,5	4,8	4,4	3,5	3,6	3,3	3,6	3,8	4,1	n.s.
27,5 - 35	3,9	3,1	1,8	2,3	2,4	2,6	2,7	2,5	1,2

Ruokamultakerroksen yläosan pH (0 - 10 cm) oli kyntämättömässä maassa hieman alhaisempi kuin kynnetyissä maassa. Erot olivat hyvin pieniä (n. 0,1 - 0,2 pH-yks.). Syvemmällä kynnetyn maan pH pysyi vakiona, sen sijaan kyntämättömän maan pH nousi lievästi. Jankossa (27,5 - 35 cm) kyntämättömän maan pH olikin suurempi kuin kynnetyn maan pH.

Taulukko 6. Maan pH. Sk = syyskynntö, Kk = kevätkynntö, Jy = kelajyrnsin, Ku = kultivaattori, La = lautasäes, Sp = s-piikkiäes, Lr = lapiorullaäes, 0 = sänkimuokkaamaton, w = Tukeyn testin pienin merkitsevä ero (5 %).

Table 6. Soil pH (water). Sk = autumn ploughing, Kk = spring ploughing, unploughed treatments: Jy = rotary cultivator (pto), Ku = tine cultivator, La = disc harrow, Sp = s-tine harrow, Lr = rotary tiller, 0 = no stubble cultivation, w = LSD by Tukey (5 %).

	Sk	Kk	Jy	Ku	La	Sp	Lr	0	w
Syvyys cm									
0 - 5	6,1	6,2	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	0,2
5 - 10	6,0	6,1	6,0	6,0	5,9	5,9	5,9	5,8	0,2
10 - 15	6,1	6,2	6,2	6,2	6,1	6,2	6,1	6,0	n.s.
15 - 22,5	6,2	6,2	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2	6,3	n.s.
22,5 - 27,5	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,4	6,3	n.s.
27,5 - 35	6,2	6,2	6,3	6,5	6,4	6,4	6,3	6,4	0,2

Kyntämättömässä maassa oli enemmän kaliumia 0 - 10 cm syvyydessä kuin kynnetyissä maassa. Ero oli merkitsevä 0 - 5 cm syvyydessä. Syvemmällä maan kaliumpitoisuudet pienenevät, kyntämättömällä maalla melko jyrkästi. Kynnetyn maan kaliumpitoisuus oli merkitsevästi suurempi kuin kyntämättömän maan kaliumpitoisuus 15 - 27,5 cm syvyydessä. Viimeisessä tutkitussa kerroksessa (27,5 - 35 cm) erot kaliumpitoisuuksissa pienenevät. Ero oli merkitsevä syyskynntökoejäsenen ja s-piikkiäes-, lapiorullaäes sekä 0-koejäsenen välillä.

Ruokamultakerroksen yläosassa (0 - 5 cm) fosforia oli enemmän kyntämättömässä kuin kynnetyissä maassa. Syyskynnetyissä maassa fosforipitoisuus nousi 5 - 10 cm syvyydessä. Ruokamultakerroksen keskiosassa kyntämättömän maan fosforipitoisuus aleni melko jyrkästi. Ruokamultakerroksen alaosassa kyntämättömässä maassa oli vähiten fosforia, lukuunottamatta kelajyrnsimellä ja kultivaattorilla sänkimuokattuja maita, joiden fosforipitoisuus oli likimain sama kuin kynnetyissä maassa.

Jankossa (22,5 - 35 cm) kyntämättömän maan fosforipitoisuus aleni edelleen. Varsinkin viimeisessä tutkitussa kerroksessa kyntämättömässä maassa oli huomattavan vähän fosforia. Syys-

kynnetyn maan fosforipitoisuus erosi merkitsevästi 22,5 - 27,5 cm syvyydessä kelajyrsimellä ja lautasäkeellä sänkimuokattujen maiden fosforimäärästä. Viimeisessä kerroksessa syyskynnetyn maan ja kyntämättömän maan fosforipitoisuusero oli merkitsevä, lukuunottamatta lapiorullaäkeellä sänkimuokattua maata.

Taulukko 7. Maan kalium- ja fosforipitoisuus (mg/l). Sk = syyskyntö, Kk = kevätkyntö, Jy = kelajyrsin, Ku = kultivaattori, La = lautasäes, Sp = s-piikkiäes, Lr = lapiorullaäes, 0 = sänkimuokkaamaton, w = Tukeyn testin pienin merkitsevä ero (5 %).

Table 7. Amount of potassium and phosphorus (mg/l) soluble in acid (pH 4,65) ammonium acetate. Sk = autumn ploughing, Kk = spring ploughing, unploughed treatments: Jy = rotary cultivator (pto), Ku = tine cultivator, La = disc harrow, Sp = s-tine harrow, Lr = rotary tiller, 0 = no stubble cultivation, w = LSD by Tukey (5 %).

K (mg/l):

	Sk	Kk	Jy	Ku	La	Sp	Lr	0	w
Syvyys cm									
0 - 5	290	270	360	400	410	410	400	360	90
5 - 10	250	250	290	290	270	270	280	280	n.s.
10 - 15	250	260	220	230	210	210	200	210	50
15 - 22,5	240	240	190	190	180	180	180	170	30
22,5 - 27,5	240	220	190	180	170	170	170	160	50
27,5 - 35	220	210	190	200	190	180	170	180	40

P (mg/l):

	Sk	Kk	Jy	Ku	La	Sp	Lr	0	w
Syvyys cm									
0 - 5	11,9	11,2	12,7	14,0	14,3	13,5	11,6	13,9	n.s.
5 - 10	15,5	11,4	13,6	13,4	12,4	12,2	12,3	14,1	n.s.
10 - 15	11,6	12,6	11,2	10,6	9,0	7,5	7,5	9,5	4,9
15 - 22,5	12,0	12,9	13,3	10,0	9,1	7,8	8,1	8,3	n.s.
22,5 - 27,5	12,6	11,1	6,3	7,9	6,4	8,2	6,9	8,6	6,1
27,5 - 35	7,8	5,8	2,2	3,9	4,1	4,0	4,7	3,2	3,4

Kalsiumia oli merkitsevästi enemmän kynnetyn maan pintakerroksessa kuin kyntämättömässä maassa. Ruokamultakerroksen alaosassa kalsiumia oli merkitsevästi enemmän kyntämättömässä

kuin kynnetyissä maassa. Syyskynetyssä maassa oli merkitsevästi vähemmän kalsiumia 27,5 - 35 cm syvyydessä kuin kynnetyissä maassa keskimäärin.

Magnesiumia oli maan pintaosissa (0 - 5 cm) merkitsevästi enemmän kynnetyissä kuin kyntämättömässä maassa. Syvemmälle mentäessä kyntämättömän maan magnesiumipitoisuus nousi jyrkästi. Kyntämättömässä maassa olikin eniten magnesiumia 15 cm syvemmissä maakerroksissa.

Taulukko 8. Maan kalsium- ja magnesiumipitoisuus (mg/l). Sk = syyskynntö, Kk = kevätkynntö, Jy = kelajyrsin, Ku = kultivaattori, La = lautasäes, Sp = s-piikkiäes, Lr = lapiorullaäes, 0 = sänkimuokkaamaton, w = Tukeyn testin pienin merkitsevä ero (5 %).

Table 8. Amount of calcium and magnesium (mg/l) soluble in acid (pH 4,65) ammonium acetate. Sk = autumn ploughing, Kk = spring ploughing, unploughed treatments: Jy = rotary cultivator (pto), Ku = tine cultivator, La = disc harrow, Sp = s-tine harrow, Lr = rotary tiller, 0 = no stubble cultivation, w = LSD by Tukey (5 %).

Ca (mg/l):

	Sk	Kk	Jy	Ku	La	Sp	Lr	0	w
Syvyys cm									
0 - 5	2510	2610	2300	2250	2270	2270	2260	2380	180
5 - 10	2460	2600	2430	2430	2470	2490	2430	2510	n.s.
10 - 15	2520	2540	2750	2740	2850	2900	2840	2870	n.s.
15 - 22,5	2490	2540	2850	2810	2870	2940	2910	2930	270
22,5 - 27,5	2440	2560	2900	2830	2790	2810	2850	2790	n.s.
27,5 - 35	2510	2710	3080	3180	3010	3010	2920	3150	510

Mg (mg/l):

	Sk	Kk	Jy	Ku	La	Sp	Lr	0	w
Syvyys cm									
0 - 5	360	380	320	300	270	300	300	320	70
5 - 10	350	380	370	300	330	330	320	330	n.s.
10 - 15	360	370	390	350	380	380	370	340	n.s.
15 - 22,5	360	370	440	420	410	410	400	400	70
22,5 - 27,5	360	400	560	480	460	440	450	420	n.s.
27,5 - 35	440	550	730	690	620	580	560	610	190

5. Tulosten tarkastelu

Tutkimuskesänä 1987 koekenttä oli muokkaamattomana kesantona. Kesannon mahdolliset vaikutukset maan ominaisuuksiin täytyy ottaa huomioon tuloksia tarkastellessa. Tulosten luotettavuutta saattoivat huonontaa myös koejärjestelyissä olleet puutteellisuudet. Lisäksi kenttäkokeen viljelyhistoria oli osin tuntematon.

Maan fysikaaliset ominaisuudet:

Muokkaustutkimuksen mielenkiinnon kohteena on ollut maan viljelyominaisuuksissa tapahtuvat muutokset, kun kynnöstä luovutaan. Kynnön korvaaminen kevyemmällä muokkauksella on nähty yhtenä ratkaisuna nykyaikaisen viljelyn aiheuttamiin maan rakenneongelmiin (PAGE ym. 1946, PEREIRA 1975, KUIPERS 1980). Kyntämättömän maan rakenteessa tapahtuneiden muutosten merkitys kasvien kasvun kannalta on usein jäänyt muiden kasvuun vaikuttavien tekijöiden, lähinnä juuririkkakasvien lisääntymisen, varjoon. Tulosten vertailukelpoisuus kärsii myös mitausmenetelmien erilaisuudesta.

Maan tilavuuspaino ja mekaaninen vastus: Maan ruokamultakerroksen keski- ja alaosan tilavuuspainon on todettu olevan kyntämättömässä maassa suurempi kuin vuosittain mekaanisesti kuohkeutetussa kynnetyissä maassa. Myös kyntämättömän maan mekaaninen vastus on usein ollut suurempi tässä kerroksessa (mm. VAN OUWERKERK ja BOONE 1970, CANNELL ja ELLIS 1976, EHLERS ym. 1983, CLUTTERBUCK ja HODGSON 1984, MARTI 1984, CHANEY ym. 1985, RYDBERG 1986, PITKÄNEN 1988). Toisaalta kynnetyn maan tilavuuspaino ja mekaaninen vastus ovat kasvaneet kyntökerroksen alapuolella (25 - 35 cm) samansuuruisiksi tai suuremmiksi kuin kyntämättömässä maassa (mm. EHLERS ym. 1983, RYDBERG 1986, PITKÄNEN 1988).

Myös tässä tutkimuksessa hiesusaven tilavuuspaino oli suurempi (keskimäärin $0,15 \text{ g/cm}^3$) kyntämättömässä kuin kynnetyissä maassa 10 - 27,5 cm syvyydessä. Syvemmillä syksyllä kynnetyn maan ja kyntämättömän maan tilavuuspainoissa ei ollut eroja. Keväällä kynnetyn maan tilavuuspaino oli pienin koko tutki-

tussa maakerroksessa. Maan mekaaninen vastus oli vastaavasti suurempi 14 - 28 cm syvyydessä kyntämättömässä kuin kynnetyssä maassa. Syyskynnetyssä maassa maan mekaaninen vastus kasvoi syvemmällä (> 28 cm) selvästi suuremmaksi kuin keväällä kynnetyn maan ja kyntämättömän maan mekaaniset vastukset. Tilavuuspainomittauksia ei ulotettu yhtä syvälle kuin penetrometrimittauksia. Ilmeisesti myös syyskynnetyn maan tilavuuspaino suureni 35 cm syvemmissä kerroksissa.

Kyntämättömän maan tilavuuspainossa näkyi erityyppisten sänkimuokkausten vaikutus. Sänkimuokkaamattomassa, vain keväällä s-piikkiäkeellä kylvömuokatussa maassa tilavuuspaino kohosi selvästi ($0,32 \text{ g/cm}^3$) vasta 22,5 - 27,5 cm syvyydessä. Pyöriväteräisten äkeiden, lautas- ja lapiorullaäkeen, maata tiivistävä vaikutus ilmeni kohonneena maan tilavuuspainona jo 5 - 10 cm syvyydessä. Jyrsimellä, kultivaattorilla ja s-piikkiäkeellä sänkimuokatuissa maissa tilavuuspaino nousi 10 - 15 cm syvyydessä. Vuosittain toistuva syysränkimuokkaus näyttäisi muodostaneen maahan muokkausanturan. Erityisesti märän maan sänkimuokkaus edistää tämän tyyppisen tiivistymän syntymistä (BAUDER ym. 1981, CANNELL ym. 1982, MARTI 1984 ja CHANEY ym. 1985). Maan mekaanisena vastuksena muokkausantura ei kuitenkaan näkynyt selvästi. Sänkimuokkaamattoman maan mekaaninen vastus oli suurin koko tutkitussa maakerroksessa.

Kevätkyntö ja kyntämättä viljely näyttivät tiivistäneen jankkoa vähemmän kuin syyskyntö. Syyskynnetyssä maassa jankon tiivistymä ulottui hyvin syvälle. Ilmeisesti kyntöolot ovat maan rakenteen säilymisen kannalta useimmin edullisemmat keväällä kuin syksyllä. Kevätkyntö ei kuitenkaan sovellu savi- maille, koska se tuhlaa kevätkosteutta. Lisäksi kynnös on usein kokkareista, mikä vaikeuttaa kylvömuokkausta.

Ruokamultakerroksen keski- ja alaosan tiivistymisen voidaan olettaa haittaavan kasvien juurten kehittymistä. Juuristotutkimuksissa on juurten kasvun todettu olleen ruokamultakerroksessa jonkin verran heikompaa kyntämättömällä kuin kynnetyllä

maalla (FINNEY ja KNIGHT 1973, ELLIS ym. 1977, BAUDER ym. 1981, CANNELL ym. 1982, TEN HOLTE 1982, RYDBERG ja ÖCKERMAN 1987). Pääsyyinä tähän on pidetty kohonnutta maan mekaanista vastusta (BAUDER ym. 1981, RYDBERG ja ÖCKERMAN 1987). Myös riittävän suurten huokosten puuttuminen on voinut haitata juurten kasvua (FINNEY ja KNIGHT 1973). Kyntösyvyyden alapuolella juurten kasvu on kuitenkin usein ollut tehokkaampaa kyntämättömässä kuin kynnetyissä maassa. Tähän on vaikuttanut kynnetyn maan kohonnut mekaaninen vastus tässä syvyydessä (EHLERS ym. 1983, CHANEY ym. 1985, RYDBERG ja ÖCKERMAN 1987).

Maan suuret huokokset: Suuret, läpimitaltaan yli 30 µm kokoiset huokokset ovat tärkeitä maan vedenläpäisevyyden, ilmanvaihdon ja juurten kasvun kannalta. Kyntämättömän maan ruokamultakerroksen tiivistyminen on ilmennyt varsinkin suurten huokosten osuuden pienenemisenä (EHLERS 1973, BOONE ym. 1976, DOUGLAS ym. 1980, PIDGEON 1981, BALL ja O'SULLIVAN 1982, RASMUSSEN ja OLSEN 1983, RILEY 1983, RILEY ym. 1985, MARTI 1984, RYDBERG 1986). Kyntökerroksen alapuolella kynnetyn maan suurten huokosten määrä pienenee jyrkästi verrattuna kyntämättömään maahan (BOONE ym. 1976, DOUGLAS ym. 1980, PIDGEON 1981, EHLERS ym. 1983, RYDBERG 1986).

Tutkitulla hiesusavella makrohuokosia oli 10 - 15 cm syvyydessä eniten keväällä kynnetyissä maassa. Syyskynnetyissä maassa sekä kelajyrsimellä, kultivaattorilla ja s-piikkiäkeellä sänkimuokatuissa maissa makrohuokosia oli lähes yhtä paljon. Lautasäkeellä sänkimuokatussa maassa ja sänkimuokkaamattomassa maassa suuria huokosia oli vähiten. Syvemmällä (30 - 35 cm) suuria huokosia oli eniten syyskynnetyissä maassa ja jyrsimellä sänkimuokatussa maassa. Keväällä kynnetyissä maassa sekä kultivaattorilla ja s-piikkiäkeellä sänkimuokatuissa maissa suuria huokosia oli tässä syvyydessä keskimäärin samanverran. Vähiten suuria huokosia oli edelleen lautasäes- ja 0-koejäsenissä.

Maan vedenläpäisevyys: Useissa tutkimuksissa maan vedenläpäisykyvyn on todettu olevan parempi kyntämättömällä kuin kynnetyllä maalla. Erityisesti ruokamultakerroksen alaosan ja jan-

kon yläosan vedenläpäisykyky on ollut suurempi kyntämättömässä maassa (BAUEMER 1970, EHLERS 1975, GOSS ym. 1978, RYDBERG 1986). Tämän katsotaan johtuvan kyntämättömään maahan muodostuneesta katkeamattomasta pystysuorasta huokossysteemistä, joka koostuu lierojen käytävistä, vanhoista juurikanavista ja halkeamista (EHLERS 1975, BARNES ja ELLIS 1979, ELLIS ym. 1979, DOUGLAS ym. 1980). Kasvien juuret ovat myös löytäneet kasvutien kyntämättömän maan jatkuvien huokosten kautta (EHLERS ym. 1980, 1983, ELLIS ja BARNES 1980). Erityisesti kastelierojen (Lumbricus terrestris) pystysuorat käytävät ovat tärkeitä vedenläpäisevyyden ja juurten kasvun kannalta (EHLERS ym. 1975, BARNES ja ELLIS 1979).

Kastelierojen on todettu hyötyvän kyntämättä viljelystä (mm. BOONE ym. 1976, GERARD ja HAY 1979, HOUSE ja PARMELEE 1985). Kyntö tappaa lieroja mekaanisesti, tuhoaa niiden pysyvän käytäväjärjestelmän sekä hautaa lierojen munia liian syviin kerroksiin. Kyntö vaikeuttaa kastelieron ravinnon saantia hautaamalla kasvinjätteet syvälle maahan lieron normaalin ravinnonhakureitin (maan pinnalta) ulottumattomiin. VAKOLAN hiesu-savikoekentän kastelieropopulaatiota on tutkinut HAUKKA (1988). Tutkimus tehtiin samana kesänä kuin maaperämittaukset. Kastelieroja oli eniten sänkimuokkaamattomalla maalla ja kultivoidulla maalla. Myös s-piikkiäkeellä sänkimuokatussa maassa kastelieroja oli enemmän kuin kynnetyissä maassa. Kelajyrsimellä sänkimuokatussa maassa kastelieroja oli selvästi vähiten. Kelajyrsin käsittelee maata melko totaalaisesti muokausvyvydessä. Kelajyrsimen käyttö syksyllä on saattanut vähentää kastelierojen määrää sekä mekaanisesti tappamalla että tuhoamalla niiden käytävät. Kastelierot ovat aktiivisimmillaan maan pintakerroksissa juuri syksyllä.

Syyskynnetyn maan ja kultivaattorilla sänkimuokatun maan sekä sänkimuokkaamattoman maan vedenläpäisevyyksissä ei ollut juuri eroja 0 - 20 cm syvyydessä. Kelajyrsimellä sänkimuokatun maan vedenläpäisevyys oli selvästi pienin tässä kerroksessa. Ilmeisesti kelajyrsimessä maassa ei ollut ruokamultakerroksessa jatkuvia huokosia, vaikka maa oli muuten melko kuohkeaa verrattuna muihin kyntämättömiin koejäseniin. Varsinkin kos-

tean maan jyrshintä voi olla vahingollista maan rakenteelle. Lierotutkimus tukee ruokamultakerroksen vedenläpäisevyyksimittausten tuloksia.

Syvemmillä (20 - 40 cm) kynetyssä maassa oli jonkinverran parempi vedenläpäisevyys kuin kyntämättömässä maassa. Ero ei kuitenkaan ollut kovin suuri. Kaikkien koejäsenien vedenläpäisevyys oli hyvin alhainen ja tuloksissa oli lisäksi suurta hajontaa. Tulos saattaa kuitenkin merkitä, että vedenläpäisykyky heikkeni ruokamultakerroksen alaosassa ja jankon yläosassa enemmän kyntämättömässä kuin kynetyssä maassa. Mittauksia olisi pitänyt tehdä myös syvemmillä, koska kynetyssä maassa sekä tilavuuspaino että mekaaninen vastus kasvoivat 30 cm syvemmissä kerroksissa.

Vedenläpäisymittauksiin saattoi vaikuttaa koekentän kesantona olo. Kynetty maa oli ollut koskemattomana lähes 1 1/2 vuotta, joten maahan oli saattanut muodostua jatkuvia huokosia. Muokkaamaton kesanto, jonka päällä oli kasvinjätteitä ja rikkakasveja, oli myös kastelieroille edullinen elinympäristö.

Maalajin merkitys kyntämättä viljelyssä: Pohjoismaisissa tutkimuksissa auraton viljely on menestynyt parhaiten mailla, joiden hiesupitoisuus on ollut melko korkea (MARTI 1984, RYDBERG 1987, PITKÄNEN ym. 1988). Parantunut mururakenteen stabiilisuus ja vähentynyt evaporaatio ovat ilmeisesti olleet pääsyyinä heikkorakenteisten ja poutivien hiesumaiden menestymiseen (RYDBERG 1986, PITKÄNEN 1988).

VAKOLAN hiesusavikokeen satotuloksien (PEHKONEN ja MIKKOLA 1988) mukaan kelajyrsimellä ja kultivaattorilla sänkimuokattujen maiden kevätvehnäsato oli 12 koevuoden jälkeen samansuuruinen kuin syyskynnetyn maan sato. Lautasäkeellä ja s-piikkiäkeellä sänkimuokattujen maiden sato oli n. 2 % ja lapiorullaäkeellä sänkimuokattun maan n. 5 % pienempi kuin kynnetyn maan sato. Sänkimuokkaamattomalla maalla ja kevätkynetyllä maalla kevätvehnän sato oli selvästi pienin. Juolavehänä oli pääsyy sadonalennuksiin kyntämättömällä maalla. Syyssänkimuokkaus jyrsimellä tai kultivaattorilla torjui kui-

tenkin juolavehnää melko hyvin. Sänkimuokkaamattomalla maalla juolavehänä lisääntyi nopeasti. Tehokas syyssänkimuokkaus helpotti myös kyntämättömän maan kylvömuokkausta. VAKOLAN hiesusavi muistutti maalajitekoostumukseltaan PITKÄSEN (1988) tutkimuksen hiesusavea. Ilmeisesti myös tässä tapauksessa parantunut mururakenteen stabiilisuus ja evaporaation väheneminen selittävät pääosin hyvän satotuloksen, kun juuririkkakasvit pysyivät kurissa. Kevätkyntö sen sijaan tuhlsi hiesusaven kevätkosteutta ja vaikeutti kylvömuokkausta.

Korkean savespitoisuuden vuoksi tutkimuksen hiesusavi on myös altis tiivistymään. Jotta kyntämättömyyden edut tulisivat esille, on maan tiivistämistä kaikin keinoin vältettävä. Sänkimuokkauksen märkää maata tiivistävä vaikutus oli nähtävissä tiivistymänä muokkauskerroksen alapuolella. Syyssänkimuokkaus on usein välttämätöntä rikkakasvien torjunnan ja olkien multaamisen kannalta. Ajokerrat tulisi kuitenkin minimoida ja märän maan muokkausta välttää.

Kyntämättömän maan kylvömuokkaukseen tulisi kehittää koneet, jotka työskentelevät hyvin olkisessa maassa. Tällöin oljet eivät lisää kyntämättömän maan muokkaustarvetta. Ajokertojen vähentämisen on todettu mm. parantaneen juurten kasvua kyntämättömällä maalla. Jyrsinkylvön tapainen yhden ajokerran menetelmä vaikuttaisi parhaimmalta ratkaisulta kyntämättömän maan kylvömuokkaukseen (RYDBERG 1986, RYDBERG ja ÖCKERMAN 1987).

Maan viljavuus:

Kyntämättömän maan pintaosassa (0 - 5 cm) oli n. 0,8 prosenttiyksikköä enemmän orgaanista ainesta kuin kynnetyissä maassa. Humusta oli kertynyt maan pinnalle, vaikka oljet kerättiin pois syksyllä. Ruokamultakerroksen keski- ja alaosassa humuspitoisuuksissa ei ollut eroja muokkausmenetelmien välillä. Humus parantaa mururakenteen stabiilisuutta. Lisäksi pinta-maan kohonnut humuspitoisuus suosii maaeliöiden lisääntymis-

tä. Multava pintakerros vähentää myös evaporaatiota (CANNELL ja ELLIS 1976, CANNELL ym. 1982, RASMUSSEN ja OLSEN 1983, MARTI 1984, RYDBERG 1986, PITKÄNEN 1988).

Kahdentoista vuoden kyntämättömyyden jälkeen maan pH ei ollut mainittavasti alentunut ruokamultakerroksen yläosassa. Vastaavia tuloksia ovat saaneet mm. ELLIS ja HOWSE (1980), RYDBERG (1986) ja PITKÄNEN (1988).

Kynnetyissä maassa ravinteet olivat jakaantuneet tasaisesti eri kerroksiin. Sen sijaan kyntämättömässä maassa fosforia ja kaliumia oli kertynyt ruokamultakerroksen yläosaan (0 - 10 cm). Fosfori ja vähäisemmässä määrin kalium ovat huonosti maassa liikkuvia. Lisäksi kyntämättömän maan pintakerroksen kaliumin määrää nostavat kaliumpitoiset kasvinjätteet (HODGSON ym. 1977, ELLIS ja HOWSE 1980, RASMUSSEN ja OLSEN 1983, CLUTTERBUCK ja HODGSON 1984, RILEY ym. 1985, RYDBERG 1986, PITKÄNEN 1988). Kelajyrsin ja kultivaattori olivat sekoittaneet fosforia ja kaliumia jonkinverran myös syvempiin kerroksiin (10 - 22,5 cm). Kummankaan ravinteen kohdalta aurattoman viljelyn ei voida todeta köyhdyttäneen ruokamultakerroksen keski- ja alaosaa. Jankossa kyntämättömän maan fosforipitoisuus oli kuitenkin melko alhainen. Aurattomassa viljelyssä sänkimuokkaus sekoittaa ravinteita ruokamultakerroksen yläosassa. Aurattomassa viljelyssä voidaan käyttää sijoituslannoitustekniikkaa, jolla lannoitteet saadaan kasvien juurien lähelle.

Kalsium ja magnesium ovat melko helposti maassa liikkuvia. Vuosittainen kyntö palauttaa nämä ravinteet maan pinnalle. Kyntämättömässä maassa ne rikastuvat syvempiin maakerroksiin. Sekä kalsiumia että magnesiumia olikin kynnetyn maan pintaoissa enemmän kuin kyntämättömässä maassa. Kasvinravitsemuksen kannalta kynnetyn ja kyntämättömän maan magnesium- ja kalsiumpitoisuuksilla ei todennäköisesti ole merkitystä (ELLIS ja HOWSE 1980, RYDBERG 1986, PITKÄNEN 1988).

6. Kirjallisuuslähteet

- ALLISON, L. E. 1969. Organic carbon. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy 9. p. 1367-1396. Madison, Wisconsin USA.
- ANDERSSON, J., PIDGEON, J. D., SPENCER, H. B. & PARKS, R. 1980. A new hand-held recording penetrometer for soil studies. J. Soil Sci. 31: 279-296.
- ANON. 1979. Instruction manual for use of Bush recording soil penetrometer. Mark I model 1979. Findlay, Irvine limited. Bog road, Penicuik, Midlothian, Scotland. 35p.
- ANON. 1983. Equipment for determining water permeability of a soil in situ using the auger hole method. Eijkelkamp, Equipment for soil research B. V. 2nd ed. Giesbeek, Netherlands. 15 p.
- ANON. 1986. SPSSX User's guide. 2nd ed. 988 p. Chicago USA.
- BALL, B. C. & O'SULLIVAN, M. F. 1982. The characterisation of pores in ploughed and direct drilled soils in Scotland. Proc. 9th Conf. of ISTRO, Osijek, Yugoslavia. p. 396-401.
- BARNES, B. T. & ELLIS, F. B. 1979. Effect of different methods of cultivation and direct drilling and disposal of straw residues on population of earthworms. J. Soil Sci. 30: 669-679.
- BAUDER, J. W., RANDALL, C. W. & SWANN, J. B. 1981. Effect of four continuous tillage systems on mechanical impedance of a clay loam soil. J. Soil. Sci. Soc. Am. 45: 802-806.
- BAUEMER, K. 1970. First experiences with direct drilling in Germany. Neth. J. agric. Sci. 18: 283-292.
- BOONE, F. R., SLAGER, S., MIEDEMA, R. & ELEVELD, R. 1976. Some influences of zero-tillage on the structure and stability of fine textured river levee soil. Neth. J. agric. Sci. 24: 105-119.
- BOUWER, H. 1986. Intake rate: Cylinder Infiltrometer. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Agronomy 9. 2nd ed. p. 825-844. Madison, Wisconsin USA.

- CANNELL, R. Q. & ELLIS, F. B. 1976. Direct drilling (zero tillage and shallow cultivation on a range of soils in the United Kingdom. Proc. 7th Conf. of ISTRO, Sweden. Sveriges Lantbr.univ., Uppsala Rapp. jordbearbetningsavd. 45: 6, 1-6.
- , ELLIS, F. B., CHRISTIAN, D. G. & BARNES, B. T. 1982. Longterm comparisons of direct drilling, shallow tillage and ploughing on clay and silt loam soils, with particular reference to straw disposal. Proc. 9th Conf. of ISTRO, Osijek, Yugoslavia. p. 85-90.
- CHANEY, K., HODGSON, D. R. & BRAIM, M. A. 1985. The effects of direct drilling, shallow cultivation and ploughing on some soil properties in a long-term experiment on spring barley. J. agric. Sci. 104: 125-133.
- CLUTTERBUCK, B. J. & HODGSON, D. R. 1984. Direct drilling and shallow cultivation compared with ploughing for spring barley on a clay loam in northern England. J. agric. Sci. 102: 127-134.
- DOUGLAS, J. T., GOSS, M. J. & HILL, D. 1980. Measurements of pore characteristics in a clay soil under ploughing and direct drilling, including use of a radioactive tracer (^{144}Ce) technique. Soil Tillage Res. 1: 11-18.
- EHLERS, W. 1973. Strukturzustand und zeitliche Änderung der Wasser- und Luftgehalte während einer Vegetationsperiode in unbearbeiteter und bearbeiteter Löss-Parabraunerde. Z. Acker- Pflbau 137: 213-232.
- . 1975. Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil. Soil Sci. 119: 242-249.
- , KHOSLA, B. K., KÖPKE, U., STULPNAGEL, R., BÖHM, W. & BAEUMER, K. 1980. Tillage effects on root development, water uptake and growth of oats. Soil Tillage Res. 1: 19-34.
- , KÖPKE, U., HESSE, F. & BÖHM, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. Soil Tillage Res. 3: 261-275.
- ELLIS, F. B. & BARNES, B. T. 1980. Growth and development of root systems of winter cereals grown after different tillage methods including direct drilling. Pl. and Soil 55: 283-295.

- , ELLIOT, J. G., BARNES, B. T. & HOWSE, K. R. 1977. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals 2. Spring barley on sandy loam soil: soil physical conditions and root growth. *J. Agric. Sci.* 89: 631-642.
- , ELLIOT, J. G., POLLARD, F., CANNELL, R. Q. & BARNES, B. T. 1979. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals 3. Winter wheat and spring barley on a calcareous clay. *J. Agric. Sci.* 93: 391-401.
- & HOWSE, K. R. 1980. Effects of cultivation on the distribution of nutrients in the soil and the uptake of nitrogen and phosphorus by spring barley and winter wheat on three soil types. *Soil Tillage Res.* 2: 115-130.
- ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agr. Fenn.* 122: 1-122.
- FINNEY, J. R. & KNIGHT, B. A. G. 1973. The effect of soil physical conditions produced by various cultivation systems on the root development of winter wheat. *J. agric. Sci.* 80: 435-442.
- GERARD, B. M. & HAY, R. K. M. 1979. The effect on earthworms of ploughing, tined cultivation, direct drilling and nitrogen in a barley monoculture system. *J. Agric. Sci.* 93: 147-155.
- GOSS, M. J., HOWSE, K. R. & HARRIS, W. 1978. Effects of cultivation on soil water retention and water use by cereals in clay soils. *J. Soil Sci.* 29: 475-488.
- HAUKKA, J. 1988. Effect of various cultivation methods on earthworm biomasses and communities on different soil types. *Ann. Agric. Fenn.* 27: 263-269.
- HOUSE, G. & PARMELEE, R. W. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Tillage Res.* 5: 351-360.
- HODGSON, D. R., PROUD, J. R. & BROWNE, S. 1977. Cultivation systems for spring barley with special reference to direct drilling (1971-1974). *J. agric. Sci.* 88: 631-644.
- KARA, O. & RÄISÄNEN, L. 1979. Maanmuokkauksen minimointi ja kylvö- ja lannoitusvantaiden soveltuvuus kyntämättömään maahan kylvöön. Summary: Minimum tillage and suitability of coulters for sowing on non ploughed soil. *Vakola. Tutkimuslöstus* 20. p. 53

- KUIPERS, H. 1980. Reflections on the 8th conference of ISTRO. Soil Tillage Res. 1: 7-10.
- LEAMER, R. W. & LUTZ, J. F. 1940. Determination of pore-size distribution in soils. Soil Sci. 49: 347-360.
- MARTI, M. 1984. Kontinuerlicher Getreidebau ohne Pflug im Sudosten Norwegens - Wirkung auf Ertrag, physikalische und chemische Bodenparameter. Norges lantbr.hogskolan. Abhandl. Dr. scient. Inst. for jordkultur. 155 p.
- OUWERKERK, C. van & BOONE, F. R. 1970. Soil-physical aspects of zero-tillage experiments. Neth. J. agric. Sci. 18: 247-261.
- PAGE, J. R., WILLARD, C. J. & MCCUEN, G. W. 1946. Progress report on tillage methods in preparing land for corn. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 11: 70-80.
- PEHKONEN, A. & MIKKOLA H. 1988. Teknologiska möjligheterna att reducera jordbearbetning. NJF-seminarium i Danmark. Sveriges Lantbr.univ., Uppsala. Rapp. jordbearbetningsavd. 77. p. 207-217.
- PEREIRA, H. C. 1975. Agricultural science and traditions of tillage. Outl. Agric. 8: 211-212.
- PIDGEON, J. D. 1981. A preliminary study of minimum tillage systems (including broadcasting) for spring barley in Scotland. Soil Tillage Res. 1: 139-151.
- PITKÄNEN, J. Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. Summary: Effects of ploughless tillage on physical and chemical properties in soil. MTTK, Tiedote 21/88. p. 62-167.
- , ELONEN, P., KANGASMÄKI, T., KÖYLIJÄRVI, J., TALVITIE, H., VIRRI, K. & VUORINEN, M. 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset kevätiljojen satoon ja laatuun. Kuuden koevuoden tulokset. Summary: Effects of ploughless tillage on yield and quality of spring cereals. Results of six years. MTTK, Tiedote 21/88. p. 1-61.
- RASMUSSEN, K. J. 1982. Plant growth and soil physical properties by reduced tillage. Proc. 9th Conf. of ISTRO. Osijek, Yugoslavia. p. 526-531.
- & OLSEN, C. C. 1983. Jordbearbejdning og efterafgrode ved bygdyrkning. Tidsk. Planteavl. 87: 193-215.
- RICHARDS, L. A. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. Soil Sci. 66: 105-110.

- . 1949. Methods of measuring soil moisture tension. Soil Sci. 68: 95-112.
- RILEY, H. 1983. Redusert jordarbeiding og halmbehandling til vårkorn på ulike jordarter 2. Jordfysiske forhold. Forsk. Fors. Lantbr. 34: 221-228.
- . 1985. Redusert jorarbeiding til vårkorn. Ulike såmaskiner og såtider. Forsk. Fors. Landbr. 36: 61-70.
- , NJØS, A. & EKEBERG, E. 1985. Plogfri jordarbeiding til vårkorn. 2. Jordundersøkelse. Forsk. Fors. Landbr. 36: 53-59.
- RYDBERG, T. 1982. Field experiments with ploughless tillage in Sweden, 1976-1981. Proc. 9th Conf. of ISTRO. Osijek, Yugoslavia. p. 125-130.
- . 1986. Markfysikaliska och markkemiska effekter av plöjningsfri odling i Sverige. Sveriges Lantbr.univ., Uppsala. Rapp. jordbearbetningsavd. 70. p. 35.
- . 1987. Studier i plöjningsfriodling i Sverige 1975-1986. Sveriges Lantbr.univ., Uppsala. Rapp. jordbearbetningsavd. 76. p. 53.
- & ÖCKERMAN, T. 1987. Plöjningsfriodling - Dess inverkan på rotutveckling och evaporation. Sveriges Lantbr.univ., Uppsala. Rapp. jordbearbetningsavd. 74. p. 52.
- 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.
- TEN HOLTE, L. 1982. Effect of zero-tillage on soil characteristics and crop yields. Proc. 9th Conf. of ISTRO. Osijek, Yugoslavia. p. 118-124.
- VUORINEN, J. & MÄKITIE, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeol. Julk. 63. 44 s.

