

MTTK

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

Tiedote 11/91

JANNE TIIRI
Kasvintuotannon tutkimuslaitos

Muokkauksen vaikutus maan toimintoihin

JOKIOINEN 1991
ISSN 0359-7652

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

TIEDOTE 11/91

JANNE TIIRI

Muokkauksen vaikutus maan toimintoihin

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

JOKIOINEN 1991

ISSN 0359-7652

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
ESIPUHE.....	
TIIVISTELMÄ.....	1
1. JOHDANTO.....	3
2. KIRJALLISUUSOSA.....	5
2.1. Maan omat toiminnot.....	5
2.1.1. Fysikaaliset mekanismit.....	6
2.1.1.1. Paisuminen ja kutistuminen.....	6
2.1.1.2. Routa.....	9
2.1.2. Biologiset mekanismit.....	13
2.1.2.1. Juuriston toiminta.....	13
2.1.2.2. Lierotoiminta.....	15
2.2. Muokkausmenetelmien vaikutus maan ominaisuuksiin.....	18
2.2.1. Maan rakenteen kestävyys.....	20
2.2.2. Maan tiiviys.....	22
2.2.3. Vesitalous.....	24
2.2.4. Orgaaninen aines.....	26
2.2.5. Ravinteet.....	28
2.2.6. Maan biologinen aktiivisuus.....	29
2.2.7. Routaantuminen.....	32
3. KOKEELLINEN OSA.....	33
3.1. Tutkimuksen tarkoitus.....	33
3.2. Aineisto ja menetelmät.....	33
3.2.1. Kenttäkoe.....	33
3.2.2. Menetelmät.....	36
3.2.2.1. Ravinneanalyysit.....	36
3.2.2.2. Maan mekaaninen vastus.....	37
3.2.2.3. Lämpäisykyvyn mittaus.....	38
3.2.2.3.1. Infiltrimetrimenetelmä.....	38
3.2.2.3.2. Käänteinen Auger hole -menetelmä.....	40
3.2.2.3.3. Laboratoriomittaus.....	41
3.2.2.4. Huokostilavuuden määrittäminen.....	43
3.2.2.5. Lieropopulaation määrittäminen.....	44
3.2.2.6. Muut määritykset.....	44
3.2.2.7. Tilastolliset käsittelyt.....	45
3.3. Tulokset.....	46
3.3.1. Satotulokset.....	46
3.3.2. Maan viljavuus.....	46
3.3.3. Maan mekaaninen vastus.....	52
3.3.4. Huokosten määrä ja jakaantuminen.....	52
3.3.5. Maan vedenläpäisykyky.....	55
3.3.6. Kipsiblokkimittaukset.....	59
3.3.7. Lierojen esiintyminen.....	59
3.3.8. Liero- ja juurikanavien esiintyminen.....	60
3.3.9. Lieronreikien, suurten huokosten ja läpäisykyvyn riippuvuus.....	62
3.3.10. Maan rakenteen silmävarainen arviointi.....	64
3.4. Tulosten tarkastelu.....	66
4. KIRJALLISUUSLUETTELO.....	73
5. LIITTEET.....	79

ESIPUHE

Maatalouden tutkimuskeskuksessa käynnistettiin 1970-luvun lopussa ja 1980-luvun alussa monivuotiset muokkauskokeet, joilla selvitettiin totunnaisista muokkausmenetelmistä poikkeavien viljelykeinojen sopivuutta meidän oloissamme. Tämän koesarjan laajimmassa osassa eli ns. aurattoman viljelyn kokeissa keskityttiin aluksi lähinnä muokkausmenetelmien sadontuottokyvyn arvioimiseen. Sen sijaan vuonna 1983 perustetun rakennekokeen tarkoitus oli alusta lähtien seurata maan reaktiota muokkauksen keventämiseen. Erityisenä mielenkiinnon kohteena olivat maata muokkaavien biologisten prosessien - lähinnä lierojen ja juuriston toiminnan - merkitys ja teho muokkauksen eri intensiteeteillä. Biologisten toimintojen kehittymistä seurattiin useamman vuoden ajankänteellä. Seuranta jatkuu edelleen.

Tässä yhteydessä haluan esittää nöyryimmät kiitokseni erikoistutkija Erkki Auralle hänen rakentavasta kannustuksestaan tutkimuksen aikana. Koesuunnitelma oli hänen laatimansa ja häneltä myöskin sain jatkuvasti uusia ideoita tutkimuksen syventämiseksi. Hänen kattava kirjallisuuskokoelmansa oli myös minulle suureksi avuksi kirjallisuusosaa laatiessani.

Kiitokseni esitän myös Kasvintuotannon tutkimuslaitoksen johtajalle, professori Paavo Eloselle niistä loistavista tutkimusedellytyksistä, jotka hän osakseni järjesti. Samoin haluan esittää sydämelliset kiitokseni Leo Tirkkoselle, jonka työpanos tutkimuksen näytteenotto- ja analyysivaiheessa oli korvaamaton. Kiitokset ansaitsevat myös kenttäkokeen viljelytoimista vastanneet Risto Tanni ja Kimmo Kakkonen. Niinikään haluan kiittää kaikkia nimeltä mainitsemattomia työtovereita maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusalalla mittaamattoman arvokkaasta kannustuksesta työn aikana.

Suuren kiitoksen ansaitsee myös Visa Nuutinen, joka luovutti tärkeät liero tutkimuksen tulokset valmiina käyttööni. Kiitos myös maantutkimuksen tutkimusalan henkilökunnalle maa-analyysien suorittamisesta.

Jokioisissa maaliskuussa 1991

Janne Tiiri

TIIVISTELMÄ

Kevyellä muokkauksella, johon ei kuulunut kyntöä, saatiin yhteensä 20 % suurempi sato kuin perinteisellä kynnon sisältävällä viljelymenetelmällä. Kylmissä ja sateisissa oloissa kyntäminen oli eduksi, kun puolestaan kuivat ja lämpimät olot suosivat kevennettyä muokkausta.

Erot viljavuudessa olivat pieniä. Muokkauksen keventäminen oli alentanut pintamaan pH:ta verrattuna normaaliin viljelyyn; samoin kemiallisen kesannon pH oli alempi kuin muokatun kesannon. Kevyesti muokatun maan pintakerroksen kalsiumluku oli vähän alempi kuin normaalin viljelyn, magnesiumpitoisuudessa ei ollut eroa. Kaliumpitoisuus oli kevyesti muokatun maan pintakerroksessa normaalin viljelyn pitoisuutta korkeampi, fosforiluvuissa ei eroa ollut. Kemiallisessa kesannossa fosfori- ja kaliumpitoisuudet olivat muokatun kesannon pitoisuutta suuremmat.

Orgaanisen aineksen määrät maan pintakerroksessa (0-5 cm) olivat seuraavat: kemiallinen kesanto 5,62 %, muokattu kesanto 4,92 %, kevyesti muokattu maa 5,89 % ja normaali viljely 5,40 %.

Maan mekaaninen vastus oli kyntämättömän maan pintaosissa suurempi kuin kynnetyssä maassa. Kynnetyn maan kyntökerroksen alapuolella mekaaninen vastus kuitenkin kohosi suuremmaksi kuin kyntämättömän maan missään kerroksessa.

Kevyesti muokatussa maassa oli vähemmän suuria huokosia kuin kynnetyssä maassa. Kemiallinen kesanto, muokattu kesanto ja normaali viljely olivat suurten huokosten tilavuuden suhteen tasavertaisia.

Kemiallinen kesanto läpäisi vettä muita koejäseniä paremmin. Kaikilla koejäsenillä vedenläpäisykyky oli keskimäärin hyvä, vaikka huonoja läpäisykykyjäkin havaittiin. Maassa esiintyvä epähomogeenisuus vähensi tulosten luotettavuutta. Käänteinen auger hole -mittaus ei anna luotettavia tuloksia, jos maan vedenläpäisykyky on hyvä. Luotettavampien mittausten kehittämiseen olisikin jatkotutkimuksissa paneuduttava.

Kevyesti muokattu maa pysyi kosteana pisimpään. Kemiallinen kesanto ja normaali muokkaus kuivuivat lakastumisrajalle mittausyvyyteen (40 cm) asti. Muokattu kesanto kuivui pinnasta nopeasti, mutta myös jankko kuivui jonkin verran.

Kyntämättömyys oli suosinut lierotoimintaa. Kyntämättömyys oli lisännyt sekä lierojen lukumäärää, biomassaa että lierokanavien määrää. Myös juurikanavia oli kyntämättömissä koejäsenissä kynnettyjä enemmän. Lierojen lajikokoonpanoissa ei sen sijaan havaittu eroa.

Muokkauksen keventäminen sopii maille, joilla poudanarkuus on ongelma ja jotka eivät tiivisty herkästi. Kemiallinen kesanto on maan kannalta selvästi suositeltavampi kuin muokattu kesanto. Intensiivinen muokkaus heikentää maan omien toimintojen positiivisia vaikutuksia. Jatkotutkimuksissa olisi selvitettävä kyntämättömän maan eroosiokestävyys ja torjunta-aineiden huuhtoutuminen kemiallisesta kesannosta.

1. JOHDANTO

Lauhkean vyöhykkeen maissa, lähinnä Euroopassa, on maan perusteellista muokkaamista kyntämällä pidetty välttämättömänä monivuotisten rikkakasvien torjunnan ja kylvöalustan kunnollisen valmistamisen kannalta. Kynnön tarvetta on pidetty itsestäänselvyytenä, ja sen vaikutusten tieteellinen tutkiminen alkoi verrattain myöhään, vasta tämän vuosisadan alkupuolella. Sysäys muokkaustutkimukseen tuli tällöinkin Euroopan ulkopuolelta, maista, joihin eurooppalaisen kulttuurin totunnaiset muokkausmenetelmät eivät sopineetkaan. Pahentuneet eroosio-ongelmat pakottivat näissä maissa kehittämään kynnön tilalle muita, eroosiota vähemmän aiheuttavia muokkaus- ja viljelymenetelmiä.

Suomessa kyntöä totuttiin pitämään välttämättömänä perusmuokkaustoimenpiteenä aivan viime vuosiin asti. Maataloustuotannon erikoistumisen seurauksena harjoitettu yksipuolinen, vuosikymmeniä kestänyt nurmeton viljanviljely alkoi kuitenkin aiheuttaa varsinkin Etelä-Suomessa yhä pahentuneita maan rakenneongelmia, jotka kärjistyivät 1970-luvun lopun ja 1980-luvun sateisina vuosina. Tällöin sateisten syksyjen huonot kyntöolot kannustivat ja joskus pakottivatkin kokeilemaan viljelyä ilman kyntöä. Kyntöön suhtauduttiin silti edelleenkin välttämättömänä toimenpiteenä maan kasvukunnon ylläpitäjänä. Vasta PITKÄNEN ym. (1988) osoittivat, että ilman kyntämistäkin voidaan viljellä viljaa satotason pysyessä perinteiseen viljelyyn verrattuna ennallaan (savimaat) tai sadon määrän jopa noustessa (hiesuiset maat).

Lisääntynyt kiinnostus kynnön korvaamiseen muilla muokkaustoimenpiteillä ja muokkaamattomuuden mahdollistavaan suorakylvöön ovatkin olleet 80-luvun lopulla muokkaustutkimuksen kimmokkeita Suomessa. Joissain tapauksissa muokkaamattomuuden tai muokkauksen keventämisen voidaan todeta parantavan eräitä maan fysikaalisia ominaisuuksia (AURA 1988). Tulokset ovat kuitenkin melko hajanaisia ja suppeita – osin ristiriitaisiakin – eikä mitään perustavaa johtopäätöstä aurattoman viljelyn vaikutuksista maan kasvukuntoon ja fysikaalisiin ominaisuuksiin ole voitu tehdä. Tämä johtunee paitsi tutkimusaineiston vähäisyydestä ja tutkimusmenetelmien kehittymättömyydestä niin myös edellisistä johtuvasta perustietojen puuttumisesta. Edelleenkin ei tiedetä tarkkaan, mitkä maan ominaisuudet kehittyvät kyntämättä viljelyssä kasvien kannalta edulliseen suuntaan ja mitkä niistä rajoittavat kasvien kasvua. Myöskään ei tiedetä muokkauksen ulkoisia edellytyksiä,

jotka stimuloivat tai inhiboivat maan ominaisuuksien toivottua kehittymistä.

Suurin vaikutus muokkauksella lienee maan vesitalouteen. Maan kyky varastoida ja läpäistä vettä riippuu suurelta osalta huokosten jakaumasta ja koosta. Huokosten kokojakauma, mikä pitää sisällään huokosten muodon ja koon, primääristen hiukkasten järjestyksen sekundäärisissä hiukkasissa ja sekundääriset hiukkaset, heijastaa sekä maan hiukkasjakaumaa eli tekstuuria että maan rakennetta eli struktuuria. Vedellä kyllästetyssä maassa veden liikkeisiin vaikuttavat kuitenkin maan rakenne ja rakenteen kestävyys tekstuuria huomattavasti enemmän. Tämä johtuu siitä että sekundääristen rakenteiden huokokset ja muut avaruudelliset rakenteet ovat dimensioltaan paljon laajempia kuin primääriset rakenteet. Toisaalta muokkaus samoin kuin luonnonprosessitkin vaikuttavat ainakin lyhyellä aikavälillä pelkästään maan strukturiin; tekstuurin manipuloimiseen ei nykyisellä maanmuokkaustekniikalla pystytä.

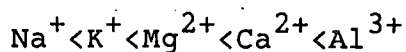
Intensiivisen ja kevennetyn muokkauksen tavoitteet ovat osittain vastakkaiset. Kynnöllä pyritään rikkomään ja kuohkeuttamaan maan rakenne sellaiseksi, että kasvien juurten on siihen helppo tunkeutua joko työntämällä maan muruja syrjään tai tunkeutumalla heikohkojen murujen läpi. Aurattoman viljelyn muokkausmenetelmissä sen sijaan pyritään mahdollisimman kestäväan rakenteeseen, jossa on valmiina juurten kasvuun ja liian veden poisjohtamiseen tarvittava määrä jatkuvia huokosia - vanhoja juurikanavia ja lierokanavia. Kynnössä oljet mullataan niiden hajotuksen vauhdittamiseksi mahdollisimman hyvin, aurattomassa viljelyssä kasvinjätteet yleensä jätetään suojaksi maan pintaan, josta suurikokoiset maaeliöt käyttävät ne ravinnokseen. Aurattoman viljelyn menetelmillä puututaan siis maan rakenteen luontaiseen kehitykseen mahdollisimman vähän, kyntöön perustuvassa viljelyssä sen sijaan maan toimintoihin vaikutetaan rajusti.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan joitakin maan rakenteen luontaisia kehittymismekanismia eli maan toimintoja ja sitä, miten eräät muokkaustoimenpiteet ja muokkaamattomuus vaikuttavat niihin. Maan toiminnolla tarkoitetaan tässä yhteydessä maassa luonnostaan tahtuvaa rakennedynamiikkaa. Koska toimintoja itsessään ei pystytä havainnoimaan, käytetään niiden indikaattoreina eräitä mitattuja tai visuaalisesti havaittuja maan ominaisuuksia.

2. KIRJALLISUUSOSA

2.1. MAAN OMAT TOIMINNOT

Maan rakenteen muotoutuminen on monimutkainen prosessi, jossa hienon saveksen ja orgaanisen aineksen määrillä on ratkaiseva merkitys (HEINONEN 1985a). Rakenteen kehittyminen alkaa savimailla primääristen hiukkasten, kolloidien, lähentymisellä elektrolyyttiliuoksessa Brownin lämpöliikkeen johdosta ja hiukkasten liimautumisella van der Waalsin voimin yhteen ns. flokkiutumisen seurauksena (MÜCKENHAUSEN 1982). Flokkiutumisessa hiukkasten yhteensitojina, sorbentteina, toimivat elektrolyyttiliuoksen epäorgaaniset kationit. Flokkiutumisen nopeuteen ja syntyvän geelimäisen rakenteen vahvuuteen ts. dispergoitumisherkyyteen vaikuttavat elektrolyyttiliuoksen vahvuus, flokkiutuvan savi-mineraalin laatu, elektrolyyttiliuoksen kationien varaus ja hydrataatioenergia; koagulaatti on sitä pysyvämpi, mitä suurempi on sorbentin varaus ja hydrataatioenergia, mitä vahvempi on elektrolyyttiliuos ja mitä suurempi on savimineraalin ominaispinta-ala. SHCACHTSCHABELin ym. (1982) mukaan kationien flokkaamiskyky kasvaa järjestyksessä:



Flokkit ovat löyhiä rakenteita, joissa saveshiukkaset ovat heikosti toisissaan kiinni (HEINONEN 1985a). Kuivuminen aiheuttaa flokkiin kivistymispaineen, jonka seurauksena saveshiukkaset järjestyvät tiiviimmin toisiaan vasten "saveskimpuiksi" (clay domain). Saveskimput liittyvät kuivumisen edistytessä yhteen massiiviseksi rakenteeksi. Jos kuivuminen on heterogeenistä jäätyminen tai kasvien vedenoton seurauksena, saattaa floikeista jossain tapauksessa muodostua myös suoraan aggregaatteja.

Syntyneiden rakenneosasten, aggregaattien, pinnoilla rauta- ja alumiinioxidit, amorfiset silikaatit, karbonaatit ja orgaaninen aines stabiloivat rakenteen (HEINONEN 1985a). WERSCHEINERin (1958) mukaan rakenteeseen vaikuttavat tämän jälkeen erilaiset fysikaaliset ja biologiset toiminnot. Aluksi epätasainen kuivuminen aiheuttaa maahan jännyksiä, joiden seurauksena maa halkeilee. Samoin vaikuttaa myös veden jäätyminen. Seuraavaksi kasvien juuristo tunkeutuu maahan ja haihduttaa vettä, jolloin maa halkeilee lisää. Myös lierot kaivavat käyttäviään maahan. Lopuksi ihminen vaikuttaa maan rakenteen kehittymiseen

maanmuokkauksellaan ja muulla peltoliikenteellään.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan lähemmin eräitä rakennekehitykseen vaikuttavia fysikaalisia ja biologisia toimintoja sekä muokkauksen vaikutusta niihin.

2.1.1. FYSIKAALISET MEKANISMIT

Maan rakennekehitystä muovaavat toiminnot vaikuttavat toisiinsa hyvin voimakkaasti ja niiden yhdysvaikutus on paljon ratkaisevampi kuin minikään yksittäisen toiminnon vaikutus. Kuitenkin maan rakennekehitykseen vaikuttavista fysikaalisista toiminnoista voidaan erottaa omiksi mekanismeikseen kutistumisen ja paisumisen vuorottelu sekä routa.

2.1.1.1. PAISUMINEN JA KUTISTUMINEN

Kun kuiva, savesta sisältävä maa imee itseensä vettä, maan tilavuus suurenee ja maan pinta kohoaa ylöspäin; puhutaan maan paisumisesta. Kun samasta maasta poistuu vettä haihtumalla tai kasvien ottamana, pienenee maan tilavuus, maan pinta laskee ja maahan muodostuu kooltaan vaihtelevia, enimmäkseen pystysuoria repeämiä eli halkeamia; puhutaan maan kutistumisesta tai halkeilemisestä. Peräkkäin toistuvat kutistumiset ja paisumiset vaikuttavat maan rakenteen kehittymiseen ratkaisevasti. Maissa, joiden savimineraali koostuu suurelta osalta montmorillonitista ja joissa kuiva ja kostea vuodenaika vuorottelevat, saattaa maahan muodostua kuivana aikana yli 10 cm leveitä halkeamia, jotka ulottuvat yli metrin syvyyteen (FITZPATRICK 1980, s. 58). Myös suomalaisissa savimaissa halkeamat saattavat olla useita senttimetrejä leveitä ja yli 50 cm syviä (ALAKUKKU 1990, suullinen tiedonanto). Kutistuminen on vain osittain reversiibeli prosessi, ts. kutistunut maa ei paisu täysin alkuperäiseen tilavuuteensa. Tarkemmin kutistumisen irreversiibeliyttä ovat selostaneet CRONEY ja COLEMAN (1954).

MÜCKENHAUSENin (1982) mukaan maan paisumistaipumus edellyttää, että maassa on vähintään kymmenen prosenttia savesta. Maan taipumus paisumiseen kasvaa, kun savespitoisuus maassa nousee. Maan paisumis- ja kutistumisominaisuuksiin vaikuttaa maan savespitoisuuden ohella myös savimineraalin ominaispinta-ala, maan kationikoostumus sekä maan rakenne ja rakennetta stabiloivien aineiden läsnäolo (MÜCKENHAUSEN 1982). Savimineraalin ominaispinta-alan kasvaessa sen kyky adsorboida vettä ja samalla kyky paisua kasvaa. Siten savimineraalien paisu-

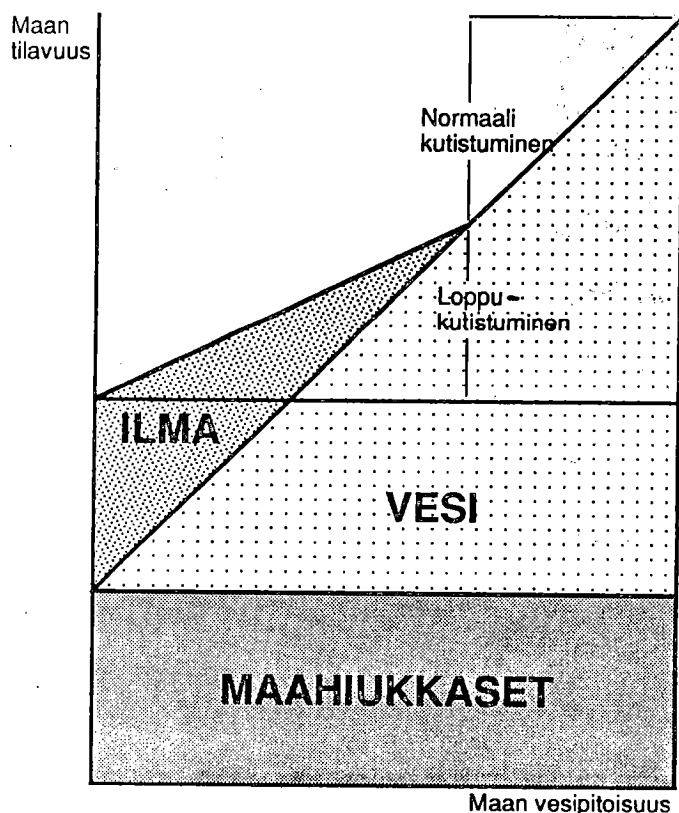
mistaipumus kasvaa järjestyksessä kaoliniitti < illiitti < vermiku-
liitti < montmorillonitiitti (SCHACHTSCHABEL ym. 1982). Samassa järjes-
tyksessä kasvaa myös savimineraalien paisumispaine, kaoliniitilla se
on 38 kPa ja montmorillonitiitilla 410 kPa (MÜCKENHAUSEN 1982).

Kationeista maan paisumista lisää eniten natrium. DAVIDSONin ja PAGEN
(1956) mukaan natriumilla kyllästetyssä savimaassa (40 % savesta) oli
paisumispaine yli kaksi kertaa suurempi kuin samassa maassa magnesi-
umilla kyllästettynä, kolme kertaa suurempi kuin kaliumilla kyllästet-
tynä ja yli kolme kertaa suurempi kuin kalsiumilla kyllästettynä. Tämä
johtuu natriumin muita voimakkaammasta hydratoitumisesta (SCHACHTSCHA-
BEL ym. 1982). Hydratoituminen, ja samalla maan paisuminen, voimistuu,
kun maan suolakonsentraatio pienenee. Maan paisuessa voimakkaasti vie-
rekkäiset aggregaatit sulautuvat paisumispaineen johdosta yhteen ja
maan huokoisuus sekä vedenjohtokyky pienenevät. Niinpä natriumilla on
huonontava vaikutus maan rakenteeseen.

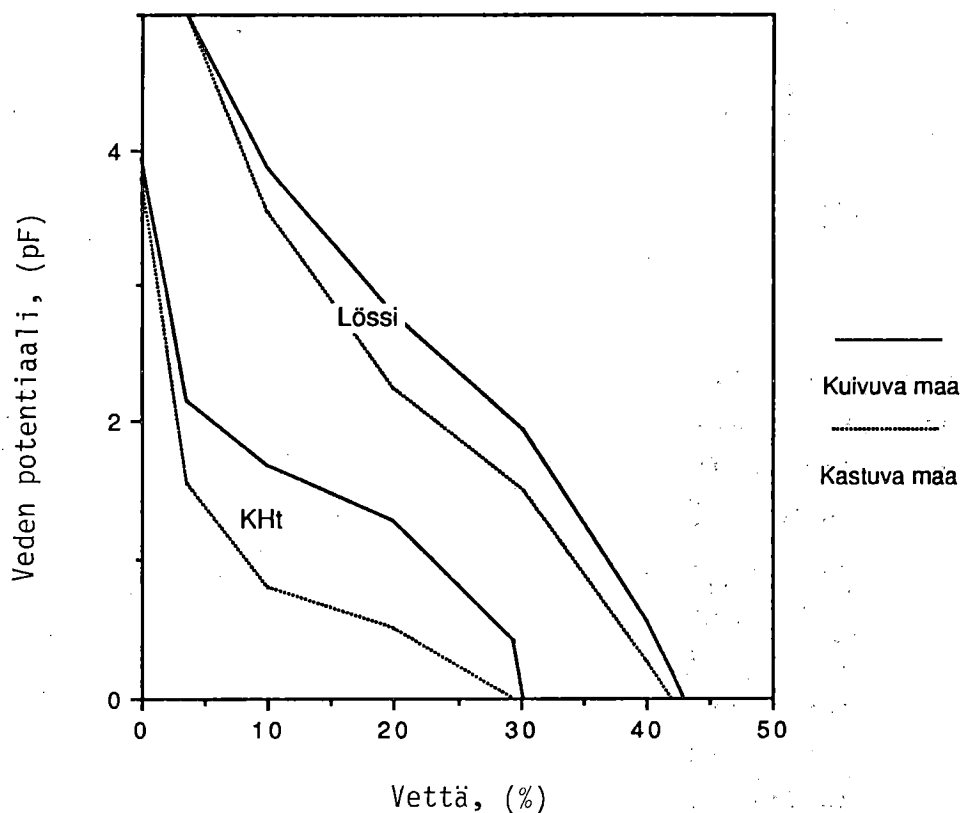
Maan rakennetta stabiloivat aineet – humus, rauta- ja alumiinioksidit,
amorfiset silikaatit ja karbonaatit – vähentävät saveksen halkeilua ja
paisumista (DAVIDSON ja PAGE 1956). Halkeilun väheneminen perustuu
näiden aineiden sementoivaan vaikutukseen saviaggregaattien pinnalla,
jolloin saveshiukkasten välinen sitoutumisenergia on suurempi kuin
saveshiukkasten ionien hydrataatioenergia. QUIRK ja PANABOKKE (1962)
nimittävät näitä paisumattomia muruja luonnollisiksi aggregaateiksi.

Maan paisumisella ja halkeilemisella on sekä positiivisia että nega-
tiivisia vaikutuksia maahan. Maan kutistuessa syntyvät halkeamat saat-
tavat katkoa kasvien juuria. Toisaalta maan halkeillessa maahan muo-
dostuu suuria huokosia, joita pitkin maan kaasujenvaihto voi tapahtua
ja jotka parantavat maan rakennetta (DAVIDSON ja PAGE 1956). Rakenne
ei kuitenkaan ole pysyvä, vaan maan paisuessa uudelleen sen suurten
huokosten määrä vähenee ja vedenjohtokyky alenee, mikä saattaa johtaa
kasvien hapenpuutteeseen. Toisaalta paisuva maa pystyy varastoimaan
suuren määrän vettä rankkasateen tai kastelun jäljiltä. DEXTERin
(1988) mukaan toistuva kuivuminen ja kastuminen, erityisesti äkkinäi-
nen kastuminen, aiheuttaa maahan mikrohalkeamien verkon, heikentää
maan kykyä vastustaa muutoksia ja lisää maan rakenteen huononemisher-
kyttä.

HAINES (1923) havaitsi kutistumisessa kaksi vaihetta (kuva 1). Kutistumisen ensimmäisessä vaiheessa maan tilavuus pienenee maasta poistuvan veden tilavuuden verran. Tätä KEEN (1931, s. 138) nimittää normaalisti kutistumiseksi (normal shrinkage). Kun maahiukkasten väliset voimat estävät maahiukkasia lähenemästä toisiaan, vähenee maan tilavuus vähemmän kuin mitä poistuvan veden tilavuus on ja veden tilalle virtaa ilmaa, jolloin puhutaan loppukutistumisesta (residual shrinkage). SCHACHTSCHABELIN ym. (1982) mukaan loppukutistumisen tunnistaa maan värin vaalenemisesta; maahan muodostuu ilman täyttämiä huokosia veden täyttämien tilalle. MARSHALLIN ja HOLMESIN (1988) mukaan maan veden potentiaali, jossa normaalikutistuminen muuttuu loppukutistumiseksi, riippuu maan savespitoisuudesta niin, että se on sitä alhaisempi, mitä suurempi on saveksen määrä. HOLMESIN (1955) mukaan normaali kutistumisvaihe muuttui 64 % savesta sisältäneessä maassa loppukutistumiseksi, kun maan veden potentiaali oli noin -10^4 kPa. QUIRKIN ja PANABOKKEN (1962) mukaan kentällä mitattaessa useimmissa savimaissa paisumisesta 70 prosenttia tai enemmän tapahtuu kuitenkin ennen kuin maan veden potentiaali saavuttaa arvon $p_F=3$ (-10^2 kPa). Maan vesipitoisuus ja samalla paisumisaste on kuitenkin erilainen samalla veden potentiaalilla riippuen siitä, onko maa kastuvassa vai kuivuvassa tilassa. Tätä maan taipumusta nimitetään hysteresis-ilmiöksi (kuva 2).



Kuva 1. Maan tilavuuden muutos vesipitoisuuden mukaan (HAINES 1923).



Kuva 2. Hysteresis-ilmiö (SCHACHTSHCABEL ym. 1982).

SRIVASTAVA ym. (1989) ovat havainneet vertisol-maissa kaksi erilaista maan halkeamistapaa: suuret ja syvät halkeamat, jotka parantavat infiltraatiota ja veden imeytymistä sekä pienet ja matalat halkeamat, joiden vaikutus on vähäisempi. Maan tiivistäminen aiheutti kokeessa suurempia halkeamia kuin tiivistämätön käsittely, mutta halkeamien yhteispinta-alalla ei silti ollut eroa. Tutkijat päättelevät tämän johtuvan siitä, että maan tiivistyessä sen kutistumistaipumuksessa ei tapahdu muutosta, mutta tiivistetty maa on rakenteeltaan homogeenisempaa, maapartikkelien välinen koheesio voimakkaampaa ja tästä johtuen halkeamiskeskuksia on harvemmassa. Myös maan hidas kuivuminen aiheutti suurempia halkeamia kuin nopea kuivuminen. Myös MARSHALLin ja HOLMESin (1988) mukaan häiritsemätön, luonnontilainen maa vastustaa tilavuuden muutoksia paremmin kuin muokattu maa.

2.1.1.2. ROUTA

Roudan merkitys maan rakennekehityksessä on varsinkin pohjoisilla viljelyalueilla suuri. Mm. CZERATZKI (1971) luokittelee roudan tehokkaimaksi savimaan kokkareiden rikkojaksi alueilla, joilla pakkanen on jokavuotinen ilmiö. Samoin KIVISAARI (1979) toteaa roudan muodostamien

mikrojäälinsien muovaavan savimaan pinnan rakennetta ratkaisevasti. Routa tehostaa kynnön muokkausvaikutusta rikkoen maakokkareita ja parantamalla liikaveden infiltraatiota ja siten nopeuttaen maan lämpenemistä keväällä. AURAN (1983) mukaan routa saattaa yhdessä kynnön kanssa korjata Suomen oloissa pahankin muokkauskerroksen tiivistymän. Sen sijaan syvempään tiivistymään roudan murentava vaikutus on vähäinen.

Määritelmän mukaan roudaksi nimitetään maan jäykistynyttä ja kovettunutta pintakerrosta, jonka on aiheuttanut maahuokosissa olevan veden jäätyminen (SOVERI ja VARJO 1977). Jäykistyneen kerroksen paksuutta sanotaan roudan syvyydeksi ja kerroksen alarajaa routarajaksi. Roudan syntyä eli maaveden jäätymistä sanotaan maan routaantumiseksi. Jos maan routaantumisen tai roudan sulamisen yhteydessä tapahtuu maan pinnan liikkumista tai maan fysikaalisten ominaisuuksien muuttumista, puhutaan routimisesta. Vaikka veden jäätyessä sen tilavuus muuttuu yhdeksän prosenttia, ei tilavuudenmuutos sinänsä useinkaan aiheuta painetta maan huokosiin, sillä tilavuudenmuutos vaikuttaa vain silloin kun maa on veden kyllästämä (MÜCKENHAUSEN 1982). Enemmän maan rakenteeseen vaikuttaa yleensä veden kerääntyminen jäätymisskeskuksiin, mikä aiheuttaa varsinaisen routimisen.

Routa voidaan luokitella neljään erilaiseen tyyppiin syntyvän ja -paikan suhteen: pintaroutaan eli rousteeseen, onkalaroutaan, massiiviseen routaan ja kerrosroutaan. Kolmea viimeksi mainittua voidaan yhteisesti nimittää maaroudaksi (KOKKONEN 1926).

Rouste muodostuu pystysuorista jääneulasista, joiden yläpinnassa on 1-2 mm paksu maakerros. Sitä muodostuu sekä syksyllä että keväällä, kun lämpötila laskee yöllä nollan alapuolelle. Roustetta esiintyy erityisesti paljaalla maalla, kuten ojien varsilla ja pelloilla. Jääneulaset kasvavat alaspäin pituutta sitä nopeammin, mitä helpommin ne saavat kapillaarista vettä työntäen samalla maata ympäriltään syrjään. Hietamaissa saattaa jääneulasten pituus olla jopa 20 cm, savimaassa 2-4 cm ja turvemaassa 5-7 cm. Rousteelle altteimpia maalajeja ovat hiesu ja hieno hietä, joissa rouste aiheuttaa mm. haitallista syysviljojen juurten katkeilua vaikeuttaen niiden talvehtimistä (SOVERI ja VARJO 1977).

Onkaloroutaa muodostuu mururakenteiseen maaperään, kuten peltoon, kun vesi jäätyy maassa olevien, osittain vedellä täyttyneiden suurten huokosten (onkaloiden) seinämiin. Vaikka näissä jäämuodostumissa on rous-tetta muistuttava neulasrakenne, ei onkalorouta sanottavammin aiheuta maan laajenemista eikä kohoamista. Massiivinen routa taas on yhte-näistä ja paljaalle silmälle melkein näkymätöntä, ja sitä muodostuu karkeampiin maalajeihin, kuten hiekkaan ja soraan, joissa maan vesipi-toisuus on alhainen. Massiivinen routa esiintyy harvoin paksuina ker-roksina ja useimmiten se kuuluu osana kerrosroutaan (SOVERI ja VARJO 1977).

Kerrosroudassa vesi jäätyy maanpinnan suuntaisiin kerroksiin, jotka voivat olla toistensa yhteydessä tai erillään, ja se on tyypillistä hienorakeisilla maalajeilla, joilla kapillaarinen nousukorkeus on yli yhden metrin. Kerrosten välimatka vaihtelee epäsäännöllisesti maan kosteudesta riippuen ja kerrosten väli voi olla massiivisessa roudassa tai se voi pysyä sulana. Kerrosroudan syntyyn ja muotoon vaikuttaa lämpötilan vaihtelu, maan vesipitoisuus, kapillaarisuus ja pohjavesi-pinnan etäisyys (SOVERI ja VARJO 1977).

SOVERI JA VARJO (1977) erottavat savimaassa vielä ns. primääriset ja sekundääriset routamuodot. Savimaassa primäärinen routa ei useinkaan ole niin säännöllistä kuin useamman kerran routineessa maassa, vaikka-kin pienemmillä aloilla jää on puhdasta. Primääristä routaa muodostuu vain paikkoihin, jotka eivät ole aikaisemmin jäätyneet, kuten esim. maanvieremien luiskiin ja tiilitehtaiden savikuoppiin. Jääkerrokset ovat tällaisissa tapauksissa usein ohuita ja epäsäännöllisiä. Usein jäätyneessä savimaassa, kuten viljelymaassa, on paksuja jääkerroksia, joissa on runsaasti maa-ainesta joukossa ja selvästi havaittava neu-lasrakenne. Useaan kertaan routaantunut savimaa on usein mururakentei-nen, jolloin se routaantuu kuten hiekka. Savisessa hietamaassa muodos-tuu samantyyppinen routa kuin monta kertaa routaantuneessa savimaassa.

Maan veden jäätympiste riippuu maan veden sitoutumislujudesta eli maan vesipotentialista, mutta jäätympiste on aina nollan alapuolel-la. Hienojakoisimmissa maalajeissa jäätympiste vaihtelee nollan ja -20°C :n välillä (SOVERI ja VARJO 1977). Maan jäätyessä vesipotentiali jäätympikeskuksen ympärillä laskee, jolloin vesi alkaa liikkua jääty-miskeskusta kohti ja jäätympikeskukseen muodostuu jäälinssi, ja lins-

sin yläpuolella maa kohoaa. Samalla jäätymyskeskuksen ympärillä maa kuivuu ja saattaa halkeilla. KIVISAAREN (1979) tutkimuksissa vesi kerääntyi suhteellisen ohueen pintakerrokseen, 10–12 mm:iin. Samoin kohdistui maan murustuminen samaan ohueen kerrokseen. Kerroksen paksuus ei kuitenkaan riippunut maan kosteudesta (KIVISAARI 1979).

KIVISAARI (1979) toteaa nopeassa jäätymisessä olevan useampia jäätymyskeskuksia kuin hitaassa jäätymisessä. Hitaassa jäätymisessä jäätymyskeskus pysyy samana peräkkäin toistuvissa jäätymisissä ja sulamisissa, kun nopeassa jäätymisessä jäätymyskeskuksen paikka vaihtelee. Siten suurin maakokkareiden hajoitusvaikutus on yleensä peräkkäin tapahtuvista jäätymis-sulamisketjuista ensimmäisellä. Jäätymiskerrokseen kerääntyvä veden määrän on suurimmillaan 14 päivää ennen roudan sulamista kokonaan eli silloin, kun roudan syvyys on maksimissaan, mutta routa on jo alkanut sulaa pinnasta päin (BENOIT ym. 1988). Vesi kerääntyy jäätymiskerrokseen kolmesta lähteestä: jäätymiskerroksesta itsestään, jäätyttömistä kerroksista ja mahdollisen suojan seurauksena lumesta. Routa tasoittaa maan kosteusoloja, sillä roudan vaikutuksesta kuiva maa kastuu ja märkä maa kuivuu (BENOIT ym. 1988).

SOVERIn ja VARJON (1977) mukaan roudan syvyys (R) Suomen oloissa voidaan laskea lumen keskisyvyyden (L), talven pakkassumman (F), maalajikertoimen (c) ja maastokertoimen (m) mukaan seuraavasti:

$$R = \frac{42cm\sqrt{F-15L}}{L}$$

THUNHOLMin ja HÅKANSSONin (1988) mukaan kasvinjätteiden jättäminen maan pintaan vähentää roudan vaikutusta, sillä kuollut kasvipeite toimii eristeenä ja roudan vaikutus jää matalammaksi. Lisäksi kasvinjätteet keräävät suojaavan lumikerroksen maan pintaan. Myös MAASILLAN (1959) mukaan ruoho- tai sänkipelto pidättää tuulen mukana kulkevaa lunta ja pienentää myös sitä kautta routakerroksen paksuutta. Saman havainnon ovat tehneet BENOIT ym. (1988). Syvä routaantuminen lisää roustetta ja roudan vaikutuksia yleensäkin (THUNHOLM ja HÅKANSSON 1988). KIVISAAREN (1979) mukaan roudan vaikutus maan huokostilavuuteen riippuu maan kosteustilasta jäätyyshetkellä. Jos maa on kostea ja paisuneessa tilassa, ei huokoisuudessa välttämättä tapahdu pysyviä muutoksia, vaan roudan sulaessa sulamisvesi liettää roudan laajentamat huokokset entiselleen. Jos jää häviää sublimoitumalla, säilyvät roudan laajentamat huokokset, mutta syntynyt rakenne on hyvin hauras ja tiivistyy herkästi.

2.1.2. BIOLOGISET MEKANISMIT

Maan biologisia prosesseja on mahdoton erottaa maan kemiallisista prosesseista, sillä useat maan kemiallisista toiminnoista tapahtuvat mikrobien avulla. Tässä yhteydessä ei kuitenkaan tarkastella sellaisia biologisia prosesseja kuin nitrifikaatiota, ilmakehän typen sidontaa, mikrobiologisia redox-reaktioita ja kasvien ravinteiden ottoa, joiden välitön vaikutus kohdistuu maan kemiallisiin ominaisuuksiin, vaikka niiden välillinen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin on ilmeinen. Sen sijaan rajoitutaan tarkastelemaan niitä biologisia prosesseja, jotka vaikuttavat ensisijassa maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Näitä ovat juurten tunkeutuminen maahan sekä maa-aineksen kulkeutuminen ylöspäin ja sekoittuminen maata kaivavien maaeläimien vaikutuksesta.

2.1.2.1. JUURISTON TOIMINTA

Voimakas juuristo pystyy tehokkaasti rei'ittämään ja kuivaamaan maan. Viljakasveista rukiin juuristo on tihein ja ylettyy syvimmälle: sen juuria on löytynyt yli kahden metrin syvyydeltä (SCHACHTSCHABEL ym. 1982). SANDSBORGIN ja RODSKJERIN (1983) mukaan syysvehnän juuret tunkeutuivat Etelä-Ruotsissa 1,6 metriin asti ja ohran juuret 1,5 metriin. Syysvehnä haihdutti kuitenkin vettä selvästi enemmän kuin ohra: Syysvehnä pystyi kuivattamaan maan täysin 1,1 metriin asti, jolloin vesivajaus kenttäkapasiteettiin verrattuna oli 192 mm, kun ohralla vastaavat luvut olivat 0,7 metriä ja 156 mm. Avokesannossa kuivuminen rajoittui ylimpään 20 cm:iin vesivajauksen jäädessä 37 mm:iin (SANDSBORG ja RODSKJER 1983). WELBANKIN ym. (1973) mukaan suurin osa viljakasvien juurista on silti maan pintaosissa: muokkauskerroksessa juuriston tiheys voi enimmillään olla 10-20 cm/cm³, mutta jankossa se on yleensä vähemmän kuin 5 cm/cm³.

Kun lämpötila ja hapensaanti eivät rajoita kasvien juurten kasvua, merkittävin juurten kasvua rajoittava fysikaalinen tekijä on EHLERSIN ym. (1983) mukaan maan mekaaninen vastus, joka vaihtelee tilavuuspainon, maan kosteuden ja veden matriisipotentialin vaihteluiden mukaan. Kun kasvin juuri kohtaa aggregaatin, sillä on kolme mahdollisuutta: se joko tunkeutuu aggregaatin läpi, työntää sen syrjään tai kiertää sen (WHITELEY ja DEXTER 1984). Se, mikä keino toteutuu, riippuu murujen vahvuudesta, murujen koosta ja kasvin juuripaineesta. Jos maa on tii-

vistä ja murut vahvoja, on juuren taivuttava sinne missä sille on valmiiksi tilaa, mutta jos maa on löyhää ja murut heikkoja sekä maassa on kosteutta riittävästi, työntää juuri murun syrjään tai tunkeutuu siihen sisään. Käytännössä tapahtunee useimmiten jotakin näiden kolmen väliltä.

Kasvavan juuren aiheuttama voima ympäristöönsä riippuu paljon juuren halkaisijasta. Yleensä halkaisjaltaan suurilla juurilla on myös suuri kasvupaine. Aggregaattien merkittävä siirtyminen 20-100 mm:n syvyudessa on mahdollista vain, mikäli murujen halkaisija on pienempi kuin 1 mm ja juuren halkaisija on suurempi kuin 0,5 mm (WHITELEY ja DEXTER 1984). Kuitenkin kasvit, joilla on suhteellisen paksu juuri (esim. peltopapu), voivat työntää sivuun muruja, joiden halkaisija on jopa 4 mm. Kun juuri kohtaa kasvaessaan läpäisemättömän esteen, pystyy se jännittämään voimansa äärimmilleen 1-3 päivässä. Tänä aikana juuren pituuskasvu on kuitenkin hyvin vähäistä.

GROENENVELT ym. (1984) ovat todenneet juurten kasvuun ja kasvumahdollisuuksiin vaikuttavan sekä maan huokostilavuuden että rakenteen stabiilisuuden. Maassa, joissa on vähän huokosia, mutta heikot murujen sidosvoimat, voi juurten kasvu siten olla parempi kuin maassa, jossa on stabiili rakenne ja enemmän huokosia. Tämä johtuu siitä, että jos rakenne on vahva, ei juurten kasvupaine riitä tunkeutumaan maan aggregaatteihin. GROENENVELT ym. (1984) määrittelevät lineaarisesti tunkeuttavuudeksi prosenttein ilmaistuna sen osan vastuskäyrää (neulapenetrometrillä ja yhden cm:n matkalla määritettynä), jolla kärkivastus jää määrättyä kärkivastusta alhaisemmaksi. Näin määritettynä on heidän mukaansa 30 %:n tunkeuttavuus juuren kasvulle yleensä riittävä. Riittävä juuren kärkipaine vaihtelee kuitenkin juuren halkaisijan, viljelysysteemin ja erityisesti maan tilavuuspainon mukaan: kun tilavuuspaino on $1,2 \text{ g/cm}^3$, on GROENENVELTin ym. (1984) mukaan tarvittava juuren kärkipaine monokulttuurimaissilla 0,34 MPa ja sinimailasen jälkeen kasvaneella maissilla 0,44 MPa; kun tilavuuspaino on $1,5 \text{ g/cm}^3$, ovat juuripaineet vastaavasti 0,83 ja 1,4 MPa. Juuripaineiden arvot mitataan yleensä suoraan pistetyillä minipenetrometreillä, käytännössä juuri pystyy kiertämään lujan aggregaatin ja juuren kasvupaine on hieinan alhaisempi. Kasvien normaali maksimikasvupaine, 0,9-1,3 MPa, onkin tavallisimmin riittävä (GROENENVELT ym. 1984).

EHLERSin ym. (1983) mukaan juurten kasvun lopettava maan mekaaninen vastus on kyntämättömässä maassa suurempi kuin kynnetyissä maassa. Tämä johtuu siitä, että juuret voivat käyttää kasvussaan hyväkseen lierokanavia ja siten kiertää liian lujia aggregaatteja. Juuret kasvavat myös vanhoja juurikanavia pitkin, jollei niitä ole mekaanisesti tuhottu. Kyntämättömässä maassa suurempi osa juurista kasvaa lierokanavia pitkin kuin kynnetyissä maassa. Syvemmissä kerroksissa juuret kasvavatkin enimmäkseen nimenomaan näissä biohuokosissa.

2.1.2.2. LIEROTOIMINTA

Lierotoiminta vaikuttaa sekä maan rakenteeseen, kemiallisiin ominaisuuksiin että mikrobiologiseen aktiivisuuteenkin. Lierojen vaikutus maan ominaisuuksiin vaihtelee lajeittain (LEE 1985). Syviä, pysyviä ja pystysuoria käytäviä kaivavat lajit, jotka hankkivat ravintonsa maan pinnan orgaanisista jätteistä (anecic species), sekoittavat maata ja maan pintaan lisättyjä aineita tehokkaasti syvyysuunnassa. Ne myös parantavat maan vedenjohtokykyä (JOSCHKO ym. 1989). HAUKAN (1988 b) mukaan ainoa Suomen viljelysmaissa havaittu lajiryhmän laji on kaste-liero (Lumbricus terrestris). Endogeeiset lajit kaivautuvat horisontaalisesti ja käyttävät ravinnokseen pinnan alaista orgaanista ainesta (LEE 1985). Ne sekoittavat maa-ainesta pääasiassa vaakatasossa. Suomessa tavallisin viljelysmaiden endogeeinen laji on peltoliero (Aporrectodea caliginosa). Viljelysmaiden ominaisuuksien kannalta vähämerkityksisimmän lajiryhmän muodostavat epigeeiset lajit, jotka elävät maan pinnan karikkeen läheisyydessä (LEE 1985). Niistä tavallisin lienee onkiliero (L. rubellus).

Lierojen esiintyessä runsaana vapautuu niiden toiminnan tuloksena paljon ravinteita. Lierojen ruuansulatusentsyymit vaikuttavat mineraaleihin ja vapauttavat niitä vesiliukoiseen muotoon. Maan pinnassa voi SPRINGETTIN (1983) mukaan olla otollisissa oloissa jopa 80 lierojen ulostekasaa/dm². Näissä ulostekasoissa on LAIRDIN ja KROGERIN (1981) mukaan maan liukenemattomasta tyypestä kuusi prosenttia muuttunut kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Kuolleiden lierojen hajoavista kudoksista vapautuu maahan 6-7 g typpeä/m², joten yhteensä kuolleista kastemadoista ja kastemadon ruuansulatuskanavan läpi kulkeneesta maas-

ta vapautuu hyvissä oloissa typpeä 100 kg/ha (LAIRD ja KROGER 1981). Määrää on pidettävä poikkeuksellisen korkeana, koska laskelmissa on oletettu optimiolot lierojen kasvulle ja kasvinjätteiden hajotukselle.

LAIRD ja KROGER (1981) ovat määrittäneet myös muita ravinteita lierojen syömästä maa-aineksesta. Lierojen ruuansulatuskanava pystyy vapauttamaan lähes kaikkia makroravinteita liukenevaan muotoon: lierojen ruuansulatuskanavan läpi kulkeneessa maassa on suurempi kationinvaihtokapasiteetti, enemmän vaihtuvaa kalsiumia, magnesiumia ja kaliumia sekä lisäksi enemmän kasveille käyttökelpoista fosforia kuin alkupe- räisessä maassa. Poikkeuksellisen runsas lieropopulaatio voikin vapauttaa orgaanisen aineksen vaikealiukoisia ravinteita kasveille käyttökelpoiseen muotoon niin paljon, että väkilannoitus ei ole välttämätöntä niin kauan kuin maassa on tarpeeksi orgaanista ainesta lierojen ravinnoksi (LAIRD ja KROGER 1981). Suomen oloissa lierojen vuotuinen biomassatuotanto on kuitenkin huomattavasti pienempi (NUUTINEN 1990) ja lierojen vapauttamat kasveille käyttökelpoiset ravinteiden määrät eivät meidän viljelymaissamme lienekään kasvien parhaan kasvun kannalta riittäviä.

EDWARDSin (1981) mukaan lierojen toiminta lisää huokostilavuutta ja erityisesti suuria huokosia ja siten myöskin ojituksen toimivuutta. Astiakokeessa lierokanavat ovatkin täyttäneet jopa 15 % maan kokonaistilavuudesta (SPRINGETT 1983). JOSCHKO ym. (1989) ovat todenneet vedellä kyllästetyn maan hydraulisen konduktiviteetin korreloivan pystysuuntaisen lieronreikien kaivuusyvytyden kanssa. Korkeat lieropopulaatiot parantavat myös KLADIVKOn ym. (1986) mukaan infiltraatiota sekä perinteisesti muokatussa että muokkaamattomassa viljelyjärjestelmässä. KLADIVKO ym. (1986) mittasivat lierottomassa maa-astiassa infiltraatioksi 8 cm/h ja kun astioihin lisättiin 15 ja 30 lieroa (Lumbricus terrestris), nousi infiltraatio kasvinjätteitä sisältäneissä maa-astioissa 65 ja 118 cm:iin/h. Lierokanavat ovat kestäviä ja vahvoja eroosiota vastaan eikä hydraulinen konduktiviteetti muutu ajan kuluessa vaan pysyy lähes vakiona. Kumulatiivista infiltraatiota lierot lisäävät astiakokeessa KLADIVKOn ym. (1986) mukaan kuudesta viiteentoista kertaiseksi. Muutos on suurehko verrattuna kenttämittauksiin, sillä yleensä raportoidut infiltraatioasteen nousut lierotoiminnan seurauksena ovat olleet kahdesta kymmeneen kertaisia (KLAVIDKO ym. 1986).

Lierokanavat vaikuttavat myös maan kaasutalouteen (CHAUDRY, ym. 1987). Lierokanavat johtavat happea mikrobeille, jolloin mineraalit hapettuvat kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Myös juuristo voi kasvaa voimakkaammin lierokanavia pitkin (EDWARDS ja LOFTY 1978, CHAUDRY, ym. 1987). Lierokanavia pitkin irtovesi poistuu maan pinnalta ja maa adsorboi sitä tehokkaasti, jolloin valunta vähenee (KLAVIDKO ym. 1986).

Lierojen maan rakennetta parantava vaikutus perustuu aggregaattien eli murujen lisääntymiseen (HOPP ja HOPKINS 1946). EDWARDSin (1981) mukaan mekanismit, joilla lierojen suolisto tuottaa muruja, ovat epäselviä, mutta joka tapauksessa lieron ulosteissa on muruja enemmän kuin koskemattomassa maassa. KLADIVKOn ym. (1986) mukaan lierot lisäävät sekä aggregaattien keskikokoa että halkaisijaltaan yli kahden mm:n murujen määrää märästä maasta määritettäessä. Maan pinnan kuorettumista voidaan välttää suosimalla viljelymenetelmiä, jotka lisäävät maan liepopulaatiota (KLAVIDKO ym. 1986).

Lierot pystyvät tunkeutumaan tiiviseenkin maahan. Kasteliero (Lumbricus terrestris) pystyi JOSCHKOn ym. (1989) mukaan tunkeutumaan maahan, joka oli tiivistetty niin, että sen huokostilavuus oli 40 %. Samoin kasteliero pystyi tunkeutumaan keinotekoisen "kyntöanturan" läpi. Kastelieron kykyyn tunkeutua tiivistyneeseen maahan vaikuttaa kuitenkin voimakkaasti vesipotentiali: lierotoiminta heikkenee sekä liian märissä että liian kuivissa oloissa. Tästä johtuen lierojen ei voida otaksua olevan kovin tehokkaita tiivistymisvaurioiden korjaamisessa.

Lierot sekoittavat maan orgaanisen ja mineraalisen aineksen ruuansulatuskanavassaan ja kerrostavat ne maan pintaan tai pinnan alle. LAIRDin ja KROGERin (1981) sekä EDWARDSin (1981) mukaan lierot kuljettavat syvemmältä maan pintaan maata 2-250 tonnia/ha/a eli yhdestä viiteen millimetriä vuodessa. Lierot tuovat ravinteita pintaan kaivamalla syviä käytäviä ja samalla ne näin parantavat maan ilmavuutta (CHAUDRY, ym. 1987). SPRINGETTin (1983) mukaan pystysuoria kanavia kaivavat lierot (Allolobophora longa, Lumbricus terrestris) sekoittavat maan pintaan levitettyä kalkkia syvälle pystysuunnassa, kun vaakatasossa reikiä kaivavat lierot (L. rubellus ja A. caliginosa) siirtävät kalkkia vain ohueen kerrokseen maan pinnassa.

BAEUMERin ja BAKERMANSin (1973) mukaan lierot eivät normaalisti ulosta maan pintaan vaan maan alle. Kuitenkin tiiviimmissä maissa, kuten muokkaamattomissa, ne ulostavat maan pintaan, jolloin tapahtuu maakerrosten sekoittumista. Kastelieron maanpäällisten ulosteiden osuus lisääntyy myös JOSCHKOn ym. (1989) mukaan tiivistymisen intensiteetin kasvaessa. Tiiviissä maassa edetessään lierot raivaavat syömällä maata aukon itselleen, kun ne huokoisemmassa maassa työntävät maapartikkeleja syrjään. Kastelieron ulosteiden tilavuuspainon JOSCHKO ym. (1989) havaitsivat 10 % pienemmäksi kuin alkuperäisen maan. SPRINGETTin (1983) mukaan pintaan avautuneet lierokäytävät pysyvät avonaisina ja pinnasta tukitut lieronreiät avautuvat uudelleen samaan paikkaan. Kasteliero (*L. terrestris*) pystyy valloittamaan "neitseellistä" maata noin metrin vuodessa.

2.2. MUOKKAUSMENETELMIEN VAIKUTUS MAAN OMINAISUUKSIIN

Kun maa otetaan viljelykseen, sen luontaiseen kehitykseen puututaan voimakkaasti. Ekologiseen sukkessioon puututaan hävittämällä luontainen kasvillisuus ja korvaamalla se haluttua satoa, useimmiten ravintoaineita, tuottavilla kasveilla. Näille maahan keinotekoisesti saateuille kasveille pyritään luomaan optimaaliselle kasvulle otollinen kasvuympäristö. Kasvuympäristön olennaisimman osan, maan, fysikaalisia olosuhteita - huokostilavuutta, mekaanista vastusta, lämmön johtumista, vesipotentiaalia jne. - muutetaan maanmuokkauksella.

Muokkauksella pyritään useisiin tavoitteisiin. EHLERSin ym. (1983) mielestä muokkauksen määräävin tavoite on stimuloida viljelykasvien juurten kasvua pienetämällä juuriston kasvaessaan kohtaamaansa vastusta. GEBHARDTin ym. (1985) mukaan muokkaukselle tulisi kuitenkin asettaa vähintään seuraavat kahdeksan kriteeriä:

- 1) muokkauksella luodaan siemenen kylvölle ja itämiselle sopiva kylvöalusta ja kasvin kasvulle otollinen maan rakenne
- 2) muokkauksella ei saa aiheuttaa tuuli- eikä vesieroosiota
- 3) muokkauksella tehostetaan veden, ilman ja lämmön virtausta maahan ja maan läpi
- 4) muokkauksella torjutaan rikkakasveja, tuhohyönteisiä ja kasvitauteja
- 5) muokkauksella mullataan kasvinjätteet joko maan pintaan tai maan pinnan alle

- 6) muokkauksen yhteydessä maata voidaan muotoilla kastelun, kuivatuksen tai sadonkorjuun asettamia vaatimuksia varten
- 7) muokkaus mahdollistaa lannoitteiden, pestisidien, karjanlannan ja muiden maanparannusaineiden käytön
- 8) maasta voidaan muokatessa poistaa haitallisia kappaleita, kuten kiviä.

Muokkauksen vaikutus maahan on yleensä pitkäaikainen. Maata viljeltäessä sen fysikaalisissa, kemiallisissa ja biologisissa ominaisuuksissa tapahtuu muutoksia, jotka ovat hyvin pitkäaikaisia ja osittain palautumattomiakin. Viljellyn, vuosittain kynnetyn savimaan palautuminen fysikaalisilta ominaisuuksiltaan samankaltaiseksi kuin alkuperäinen maa on ollut, saattaa kestää jopa viisikymmentä vuotta tai enemmän sen jälkeen, kun maahan istutetaan luontaisen kaltainen kasvusto (LOW 1955). Maanmuokkaus tulisikin ymmärtää dynaamisena prosessina, joka vaikuttaa maan pinnan fysikaaliseen ympäristöön ja häiritsee maan biologisia prosesseja (MIELKE ym. 1986).

Muokkauksen kaikki vaikutukset eivät ole tavoiteltuja. SPOOR (1975) erittelee muokkaustoimet kahteen luokkaan: positiiviseen muokkaukseen, joka tapahtuu aktiivisen toiminnan tuloksena ja jolla parannetaan kasvien kasvuympäristöä, sekä negatiiviseen muokkaukseen, jota ei tavoitella, mutta joka tapahtuu usein väistämättä mm. sadonkorjuun, sadon kuljetuksen, ruiskutuksen ja positiivisen muokkauksen yhteydessä. Liian intensiivisen muokkauksen vaikutukset voivat olla hyvinkin dramaattiset: vuosittain toistetulla muokkauksella voidaan tuhota maan luontaisten murujen pinnoilta humus-, aluminium- ja rauta-hydroksidi-, amorfiset silikaatti- sekä karbonaattikerrokset, jotka stabiloivat maan rakenteen (HEINONEN 1985a).

SPOOR (1975) korostaa, että muokkauksen lopputulosta ei määrää ainoastaan käytetty muokkausväline, muokkaussyvyys tai muokkauksen intensiteetti vaan ratkaisevaa on näiden lisäksi maan kosteustila muokkauksen aikana. Kasvi ei millään tavoin reagoi itse muokkausvälineeseen vaan siihen kasvulliseen ympäristöön, joka muokkausvälineen käytöllä luodaan. Ylimpään 30 cm:n maakerrokseen muokkaustoimet vaikuttavat toivotulla tavalla vain lyhyen aikaa, koska luonnonprosessit nousevat nopeasti rakenteen kehittymistä määrääviksi tekijöiksi (SPOOR 1975). Siksi sadon määrä ei välttämättä olekaan oikea mittari muokkauksen vaikutuksia arvioitaessa. Kuitenkin arvioitaessa muokkausmene-

telmien soveltuvuutta esim. Suomeen on useimmiten rajoitettu seuraamaan pelkästään satotason kehittymistä muokkauksen vaikutuksesta sen sijaan että olisi tutkittu muokkauksen vaikutusta maan toimintaan.

2.2.1. MAAN RAKENTEEEN KESTÄVYYS

Voimakkain maan ominaisuuksia muunteleva muokkausmenetelmä on kyntö. Suurimmat erot kynnetyn ja kyntämättömän maan fysikaalisissa ominaisuuksissa rajoittuvat kuitenkin ylimpään 75 mm:n kerrokseen (MIELKE ym. 1986). Kyntämättömän maan ylin kerros on yleisimmin 5-15 mm paksu ja siinä on muruisa rakenne (BAEUMER ja BAKERMANS 1973). Kerroksen paksuus riippuu orgaanisen aineksen pitoisuudesta, maan eläimien toiminnasta ja sääoloista. Alapuolisen kerroksen rakenne riippuu maan tekstuurista. Hiesulla se on levyrakenne, savisemmilla mailla muotoutuu yleensä lopulta polyedrinen rakenne. Kyntämätön maa tuntuu yleensä tiheämmältä ja kiinteämmältä kuin muokattu maa. Maan pinta on yleensä tasainen joitakin myyränkoloja lukuunottamatta ja kasvijätteet, vihreä sammal ja levät peittävät pinnan. Erityisesti kasvinjätteiden alla näkyy lierojen ulostekasoja. Kyntämättömän maan - etenkin kyntämättömän savimaan - murtamiseen tarvitaan enemmän voimaa kuin kynnetyn maan.

Muokkaamattomassa tai jyrsimellä kevyesti muokatussa maassa on kestävämpi rakenne kuin perinteisesti muokatussa, kynnetyissä maassa (mm. MARTI 1984, HORN 1986) ja se saattaa johtaa kasveille suotuisampiin oloihin. Rakenteen kestävyys johtuu erilaisesta huokosjakaumasta ja huokosten kestävydestä maahan kohdistuvaa rasitusta vastaan, mikä johtuu murujen erilaisesta kokoonpanosta. Runsaasti orgaanista ainesta sisältävän, runsaslieroisen maan, esimerkiksi pitkäaikaisen nurmen, hyvä rakenne säilyy parhaiten muokkausjärjestelmällä, joka ei sisällä kyntöä (DOUGLAS ym. 1986).

Jos muokkausjärjestelmää vaihdetaan ja siirrytään kyntämällä viljelystä aurattomaan viljelyyn, ovat ensimmäiset 2-3 vuotta kriittisiä (DOUGLAS ym. 1986). Muutaman vuoden aurattoman viljelyn jälkeen maan rakenne kuitenkin stabiloituu ja pinnan rakenne on hyvä. Huokoisuuden ja mekaanisen vastuksen perusteella syvempien kerrosten rakenne tuskin rajoittaa juuriston kasvua (DOUGLAS ym. 1986). Muokkaamattoman maan rakenne on kuitenkin merkänä herkästi vaurioituva, mikä rajoittaa etenkin keväistä suorakylvöä.

Pystysuorat huokokset kestävät suurempia vertikaalisia paineita kuin vaakasuorat huokokset (HORN 1986). Tämä johtuu paineen aiheuttaman voimakentän suuntautumisesta pystysuorien huokosten pituussuuntaan ja vaakasuorien huokosten poikkisuuntaan. Siksi pystysuorien biohuokosten (juuri- ja lierokanavat) aikaansaama rakenne on kestävämpi mekaaniselle rasitukselle, kuten raskaiden koneiden aiheuttamalle tiivistävälle paineelle, kuin muokattu, joka suuntaan huokoinen rakenne. Pystysuorat huokokset rikkoontuvat HORNin (1986) mukaan jokavuotisessa muokkauksessa ja samalla huokosten jatkuvuus vähenee ja rakenteen kestävyys heikkenee. Muokatessa aggregaatit pirstoutuvat pienemmiksi ja maan paisumistaipumus kasvaa maan ominaispinta-alan laajenemisen seurauksena. Muokkaamalle aikaansaadut aggregaatit ovat aluksi huokoisia, niistä ei selvästi voi erottaa sisä- ja ulkopintaa ja huokokset ovat enimmäkseen kulmikkaita ja murtopintaisia. Maan kuivuessa muokkauksen sekoittamat maapartikkelit järjestyvät uudelleen ja mururakenne muuttuu, ts. muokattu rakenne ei ole pysyvä vaan se on herkkä muutoksille, ja siksi kynnetty maa esim. halkeilee selvemmin kuin kyntämätön maa.

Aggregaatit, joita ei häiritä mekaanisesti, järjestyvät kutistumisen ja paisumisen vuorottelun seurauksena vahvaksi ja tiiviiksi rakenteeksi, jossa pienemmät aggregaatit ovat hyvin ja kiinteästi järjestyneinä suurempien aggregaattien väleihin (HORN 1986). Niinpä HORN (1986) päättelee, että kun muokkaamattoman ja muokatun maan olosuhteet ovat samat (kokonaislujuus o ja veden jännitys u molemmissa yhtä suuri), mekaanisesti häiritsemättömän maan efektiivinen lujuus o' kasvaa yhtälössä $o' = o + Xu$, missä kertoimen X arvo riippuu maan kyllästymisasteesta ja on suurempi muokkaamattomalla maalla, jonka hyötykapasiteetti on yleensä suurempi kuin muokatulla maalla (HORN 1986). Niinpä muokkaamattomaan maahan voidaan kohdistaa suurempi mekaaninen rasitus maan rakenteen muuttumatta kasveille epäedulliseen suuntaan. Avoimeksi kysymykseksi jääkin, onko tämä mekaanisesti lujempi rakenne kasvien juuriston läpäistävissä ja voivatko kasvit käyttää maan varastoimat ravinteet ja veden. Jos näin ei ole, vähenee maan viljelykelpoisuus muokkausta vähennettäessä.

2.2.2. MAAN TIIVIYS

Eri muokkausmenetelmät kuohkeuttavat maan eri kerroksia eri tavalla. (MATTSON 1988). Yleensä maa tiivistyy, jos sitä ei kynnetä. Erityisesti kyntökerroksen keskiosa muokkauskerroksen alapuolella on kyntämättömässä maassa kynnettyä tiiviimpi (MATTSON 1988). Toisaalta ruokamultakerroksen alaosa ja jankon yläosa eli mahdollinen kyntöantura kuohkeutuvat. Lierojen toiminta voi kompensoida kyntämättömän maan tiivistymisen, jonka haitat riippuvat maalajista. AURAN (1983) mukaan kynnetyn pellon kevätmuokkaus tiivistää kylvömuokkauskerroksen alapuolista, 10-25 cm:n kerrosta. Pahimmin maa tiivistyy märissä oloissa. Seuraavaan kevääseen mennessä tiivistyminen on roudan ansiosta pääsääntöisesti korjaantunut. Jankko tiivistyy kevätmuokkauksen yhteydessä vain erittäin märissä oloissa.

PITKÄSEN (1988) mukaan jyrsimen, kultivaattorin ja s-piikkiäestyksen kyntämättömään maahan aiheuttama muokkausantura näkyy kohonneina tilavuuspainoina 10-15 cm:n syvyydessä. Erityisesti märän maan sänkimuokaus edistää muokkausanturan syntymistä. Pyöriväteräiset äkeet (lautasäes, lapiorullaäes) tiivistävät maata heti muokkaussyvyyden alapuolella 5-10 cm:ssä. MIELKEN ym. (1986) mukaan kyntämättömän maan tilavuuspaino on suurempi kuin kynnetyn maan. Toisaalta ALLMARASIN ym. (1982) mukaan kynnetyissä maassa tilavuuspaino suurenee pinnasta alaspäin mentäessä 40 cm:iin asti. DOUGLASIN ym. (1986) mukaan on tilavuuspaino kevytmuokatussa maassa suurimmillaan muokkauskerroksen alapuolella (10-15 cm), kun se kynnetyissä ja suorakylvetyissä maassa sekä nurmessa saavuttaa maksiminsa pintamaan ja jankon rajassa. Suorakylvetty ja myös matalamuokattu maa on pinnaltaan vastustuskykyisempi rapautumista vastaan. Maan lujuus ja stabiilisuus vaihtelee kuitenkin suuresti kosteuden mukaan.

HORN (1986) toteaa tilavuuspainon olevan yleensä suuremman kyntämättömässä maassa kuin kynnetyissä maassa. Myös aggregaattien tilavuuspainoissa on eroja; kyntämättömän maan aggregaattien tilavuuspaino suurenee aggregaattien koon pienetessä. Tämä johtuu murujen rakenteesta: murujen ulkoreunoilla on pieniä huokosia ($\varnothing < 1\mu\text{m}$) enemmän kuin murujen sisällä, murujen sisällä suurempia huokosia ($\varnothing = > 5\mu\text{m}$) enemmän kuin ulkoreunoilla ja suuremmissa muruissa on suhteessa vähemmän ulkopintaa kuin pienissä muruissa. HORN (1986) ei havainnut kynnetyissä maassa

tätä eroa, sen sijaan HEINosen (1991, suullinen tiedonanto) mukaan pienimpien aggregaattien tilavuuspaino on suurempi kuin suurien aggregaattien riippumatta siitä, missä muokkausjärjestelmässä ne ovat syntyneet.

GEBHARDT ym. (1985) toteavat kynnetyn maan yläosan olevan kyntämätöntä kuohkeamman kasvukauden alussa, mutta kasvukauden lopussa kyntökerros on tiivistynyt yhtä tiiviiksi kuin kyntämätön maa, joskus jopa kiinteämmäksi. Myös MIELKE ym. (1986) ovat havainneet kynnetyn maan suurien huokosten määrän vähenevän kasvukauden aikana. BAEUMER ja BAKERMANS (1973) toteavat huokoisuuden vaihtelevan kyntämättömässä maassa vähemmän kuin kynnetyissä vuodenajan suhteen. Tämä viittaa rakenteen kestävyYTEEN "luonnollisesti tiivistyneessä" maassa. Koskemattomassakin maassa huokoisuus vaihtelee jonkin verran vuodenajan suhteen, mikä johtunee maan pieneliöstön aktiivisuuden muutoksista sääolojen ja maan pinnalla olevien kasvinjätteiden vaikutuksesta. Ilman täyttämien huokosten keskimääräiset arvot ovat kuitenkin vähempiarvoisia kuin huokoisuus äärioloissa, kuten rankkasateen jälkeen (BAEUMER ja BAKERMANS 1973).

GOSSin ym. (1988) mukaan kevennetyt muokkausmenetelmät vähentävät maan ilmantäyttämien huokosten määrää, jos maa ei ole salaojitettu. Salaojitetussa maassa tämä vähennys kompensoituu huokosten hyvällä jatkuvuudella. MIELKEN ym. (1986) mukaan kyntämättömyys vähentää huokosten määrää 10 %-yksiköllä, kun BAEUMER ja BAKERMANS (1973) ovat päätyneet 0-6 %:iin. Huokoisuuden erot ovat nimenomaan suurissa huokosissa, joita kynnetyissä maassa on enemmän (BAEUMER ja BAKERMANS 1973). Kyntämättömässä maassa huokoisuuden vaihtelu syvyyden suhteen on vähäisempää kuin kynnetyissä maassa. Tiivistyminen alentaa satoa kuitenkin vasta, kun suurten huokosten määrä laskee alle 10 %:iin (AURA 1983).

NEGIN ym. (1982) mukaan kyntämättömyys vähensi hieman karkeita huokosia ja lisäsi merkittävästi pieniä huokosia kyntämiseen verrattuna. Siksi kyntämättömyys on eduksi poutivilla maalajeilla ja alueilla, mutta oloissa, joissa vedestä ei ole puutetta, saattaa liian veden poisjohtuminen muodostua ongelmaksi. Myös RILEYn ym. (1985) mukaan kyntämättömyys vähensi ilmatilaa, mutta lisäsi kasveille käyttökelpoisen veden määrää hieman. MIELKE ym. (1986) toteavat niinkään kyntä-

mättömyyden lisäävän veden täyttämiä huokosia maassa. Sen sijaan ALL-MARAKSEN (1982) mukaan muokkaus lisää pienten, vedentäyttämien huokosten määrää suurten kustannuksella.

BAEUMERin ja BAKERMANSin (1973) mukaan suhteessa suurempi määrä pieniä huokosia ja homogeenisempi huokosjakauma ovat dominoivat muutokset huokoisuudessa, kun maa jätetään kyntämättä useammaksi vuodeksi. Suurimmat erot kynnetyn ja kyntämättömän maan huokosjakaumassa havaitaan 10-18 cm:n kerroksesta. Suuret huokokset ovat kyntämättömässä maassa suhteellisen jatkuvia: ylimmässä 20 cm:n kerroksessa on kyntämättömässä rakenteessa kaksinkertaisesti katkeamatta maan pintaan johtavia suuria huokosia kuin kynnetyissä maassa. Suurten huokosten määrä ja jatkuvuus vaikuttavat selvimmin maan ilmanvaihtoon (MIELKE ym. 1986). Kynnetyn maan ilmanvaihto on 0-75 mm:ssä kyntämättömää parempi, mutta 75-150 mm:ssä ei eroa enää ole. Fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat sekä maan veden että maan ilman tilaan ja siten myös biologisiin toimintoihin (MIELKE ym. 1986).

2.2.3. VESITALOUS

Kyntämättömyyttä pidetään yleensä kasvien käytettävissä olevan veden kannalta hyvänä muokkausmenetelmänä (mm. BAEUMER ja BAKERMANS 1973, NEGI 1982, RILEY ym. 1985, MIELKE ym. 1986). Parempi vesitalous kyntämättömässä maassa perustuu kasvien helpottuneeseen vedensaantiin, vähentyneeseen haihtumiseen maan pinnasta ja maan parantuneeseen kykyyn varastoida sadevettä. Tulokset ovat tosin hyvin vaihtelevia ja ristiriitaisiakin (ALLMARAS ym. 1982, GOSS ym. 1988), mikä osoittanee paitsi eroja tutkimuksen järjestelyissä ja mittausmenetelmissä, myös eroja varsinaisissa tuloksissa, ts. kyntämättömyys sopii joihinkin olosuhteisiin, joihinkin taas ei. Mitkä ne olosuhteet ovat, joihin auraton muokkausmenetelmä soveltuu ja mitkä tekijät sopivuutta määräävät, on hyvin avoin kysymys.

NEGIN ym. (1982) mukaan on välttämätöntä määrittää maaprofiilin hydrauliset ominaisuudet, kun tutkitaan maan veden liikkeitä. Näitä ominaisuuksia kuvaavat parhaiten maan kiinteän osan ja veden suhde, hydraulisen konduktiviteetin riippuvuus maan vesipitoisuudesta ja niiden ajallinen ja maan heterogeenisuudesta johtuva vaihtelu in situ. Sen lisäksi viljellyillä mailla merkitsevää on juuriston ottaman veden suhde kasvuston yhteyttämiseen, ts. vedenkäytön tehokkuus. Vedenkäy-

töltään tehokkaimpina voidaan pitää maata, jossa on alhainen, mutta riittävä vedenjohtokyky (NEGI ym. 1982). Tällainen maa imee vettä paremmin itseensä kuin maa, jossa on liian korkea vedenjohtokyky; siksi muokkaamaton maa on vedenkäytöltään tehokkaampi kuin kynnetty maa, joka voi johtaa sadeveden liian nopeasti muualle. Koska vedenjohtokyky muuttuu maaprofiilin eri kerroksissa, ei koko profiilia voi kuvata yksi vedenjohtokyvyn arvo.

Kyntämättömyyden on myös todettu parantaneen vedenjohtokykyä. GOSSin ym. (1988) mukaan kyntämättömässä maassa on 50 cm:iin asti suurempi hydraulinen konduktiviteetti kuin kynnetyissä maassa, vaikka kyntö ulottuisikin vain 25 cm:iin syvimmillään. Myös juuret tunkeutuvat kyntämättömään maahan nopeammin kuin kynnettyyn.

Haihtuminen jää kyntämättömästä maasta pienemmäksi kuin kynnetystä maasta, koska kyntämättömän maan pinnalla haihtumista estää kasvijätekerros (MIELKE ym. 1986). Pitkän ajan kuluessa kuitenkin myös muokatun ja viljellyn maan rakenteessa voi tapahtua merkittäviä muutoksia, jotka vähentävät veden haihtumista. ALLMARAS ym. (1982) arvioivat yli 50 vuotta jatkuneen vehnä-peltopapu-kierron (kyntö 30 cm:iin) vähentäneen evaporaatiota jopa 40 %:lla muokkaamattomaan maahan verrattuna ja siten hidastaneen merkittävästi maan kuivumista muokkaukelpoiseksi. He otaksuivat tämän johtuneen pintakerroksen alentuneesta diffuusiosta. Maanmuokkauksen toistuessa vuosittain voi samalla myös hydraulinen konduktiviteetti alentua (ALLMARAS ym. 1982), ja maan viljeltävyys saattaa vaikeutua huomattavasti.

Sadevesi jakaantuu kyntämättömässä maassa tasaisesti eri kerroksiin, kun se kynnetyissä maassa hulahtaa läpi kyntökerroksesta jääden lopulta ohueen kerrokseen kyntöanturan yläpuolelle (MIELKE ym. 1986). Monissa kohdin maan vuodenaikaista kuivumiskiertoa sama määrä vettä aiheuttaa siten muokkaamattomassa maassa vähemmän aerobit olot kuin kynnetyissä maassa. Kyntämättömän maan pintakerroksessa maan vesipitoisuus tilavuusyksikköä kohden on myös korkeampi kuin kynnetyissä maassa, mikä johtuu eroista maan huokostilavuudessa (MIELKE ym. 1986).

BAEUMERIN ja BAKERMANSIN (1973) mukaan muokkaussysteemi vaikuttaa enemmänkin maan veden potentiaaliin kuin huokosten kokonaistilavuuteen. Vaikutus hydraulii- ja matriisipotentiaaleissa ulottuu jopa yli kahden metrin syvyyteen. Kyntämättömässä maassa on yleensä alempi ve-

den potentiaali samassa vesipitoisuudessa, eli kasvien vedensaanti on helpompaa. Sateen jälkeen nousee veden potentiaali nopeasti kynnetyin maan pintakerroksissa noltaan, mutta syvempien kerrosten veden potentiaali jää lähes muuttumattomaksi. Kyntämättömässä maassa sen sijaan veden potentiaalinen muutokset ovat pintakerroksissa pienempiä ja syvemmällä suurempia ja nopeampia.

2.2.4. ORGAANINEN AINES

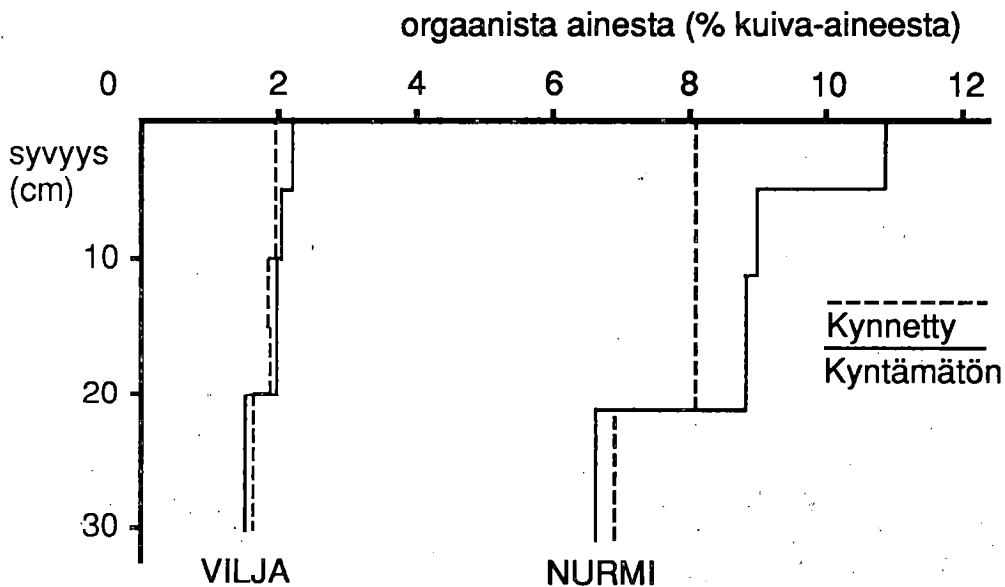
Maan muokkaaminen tehostaa orgaanisen aineksen hajoamista ja muokattua maasta orgaanisen aineksen sisältämät ravinteet palautuvat nopeammin kiertoon ja uudelleen kasvien käyttöön (TISDALL ja OADES 1980, ALLMARAS ym. 1982, SCACHTSCHABEL ym. 1982, MIELKE ym. 1986, WILD 1988, WOODS 1989). Toisaalta muokkaamattoman maan pinnalle jäävät kasvinjätteet suojaavat maata kuorettumiselta (GEBHARDT ym. 1985) ja houkuttelevat kasvinjätteitä syöviä lieroja, erityisesti kastelieroja kaivamaan käytäviä maan pintaan asti (KLAVIDKO ym. 1986). Maan pintaan akkumuloituva orgaaninen aines on muutenkin eduksi maan pinnan rakenteelle ja pieneliötoiminnalle (mm. BAEUMER ja BAKERMANS 1973, EDWARDS 1981, SPRINGETT 1983, GEBHARDT ym. 1985, MIELKE ym. 1986, DIEZ ym. 1988, HAUKKA 1988b, MATTSON 1988, SAFFIGNA ym. 1989, WOODS 1989).

MATTSONin (1988) mukaan maan pinnan toimivuus paranee kyntämättömyydessä, sillä kasvinjätteiden jäädessä pintaan pinnan orgaanisen aineksen määrä nousee ja rakenteen kestävyys piiskaavaa sadetta ja eroosiota vastaan paranee. Maan pintaan jäävät oljet saattavat tosin toimia tautipesänä, jolloin viljelykiertoon on kiinnitettävä enemmän huomiota kuin kynnettäessä. Kemikaalien suurempi käyttö voi myös olla välttämättömyyden aiheuttavat kylvettäessä teknisiä ongelmia ja juuririkkasvit, varsinkin juolavehna, lisääntyvät kyntämättä viljelyssä.

Kasvinjätteiden multaaminen kokonaan maan sisään kyntämällä nopeuttaa kasvinjätteiden hajoamista (WOODS 1989). Kynnöllä on kuitenkin myös negatiivisia vaikutuksia maan orgaaniseen osaan: luonnontilaisen maan sekoittuminen johtaa orgaanisen aineksen vähenemiseen ja sen hajaantumiseen laajemmalle alalle. Hajaantumisen seurauksena luonnontilaisen maan orgaanisen aineksen sisältämät ravinteet - C, N ja P - inaktivoiduvat. Myös ALLMARAKSEN ym. (1982) mukaan orgaaninen aines vähenee vuosittain kynnetyssä maassa. MIELKEN ym. (1986) mukaan orgaanisen aineksen pitoisuudet 0-150 mm:n kerroksessa ovat kyntämättä viljelys-

sä maassa 12-75 % korkeammat kuin kynnetyissä maassa. Kasvinjätteiden matalan multauksen tai jätön maan pintaan on kuitenkin joissain tapauksissa todettu alentavan seuraavan kasvin satoa verrattuna olkien poistoon tai olkien kyntöön 15 cm:n syvyyteen (GOSS ym. 1988).

Ensimmäisen kolmen kuukauden ajan maan pintaan jätettyjen olkien massa kasvaa, koska oljenkorsiin tarrautuu maata (BAEUMER ja BAKERMANS 1973). Maan pinnalle jäävät oljet hajoavat hitaammin kuin maahan multatut oljet ja jatkuvassa muokkaamattomassa viljelyssä olkia akkumuloituukin maan pintaan, varsinkin oloissa, joissa olkien hajoaminen on hidasta. Tällaisia maita ovat lähinnä maat, joissa on heikko biologinen aktiivisuus liiallisen happamuuden tai vesipitoisuuden takia. Kasvinjätteet, joissa on enemmän typpeä, hajoavat nopeammin. Kynnetyissä maissa orgaanisen aineksen pitoisuus on sama koko kyntökerroksessa, kun kyntämättömässä maassa orgaanisen aineksen pitoisuus on suurin pintakerroksessa ja alenee tasaisesti jankkoa kohti, jossa se on alempi kuin kynnetyissä maassa (kuva 3).



Kuva 3. Orgaanisen aineksen jakaantuminen monivuotisessa viljassa ja nurmessa (BAEUMER ja BAKERMANS 1973).

TISDALLin ja OADESin (1980) mukaan makromurujen (mikromurut= $\varnothing < 250 \mu\text{m}$, makromurut= $\varnothing > 250 \mu\text{m}$) stabiilisuus korreloi viljelymaan orgaanisen aineksen määrän kanssa, mutta mikromurujen kestävyys orgaanisen aineksen pitoisuudella ei näyttänyt olevan merkitystä. Makromuruja eivät stabiloitaneet tuoreet kasvinjätteet vaan osittain hajonneet juuret ja hyffit (sienijuuret), jotka kynnyksessä maassa hapettuvat ja hajoavat kokonaan. Halkaisijaltaan yli 2 mm:n murujen vedenkestävyys korreloi suoraan juurten ja hyffien määrään maassa (cm/g maata). Muokkaamattomissa maissa (monivuotinen nurmi ja koskematon, luonontilainen maa) ilmeisesti kuitenkin jokin muukin, toistaiseksi tuntematon tekijä, lisää makromurujen stabiilisuutta kuin yksin juurten määrä.

Muokkaustoimet näyttävät TISDALLin ja OADESin (1980) mukaan rikkovan vedenkestäviä muruja, joiden halkaisija on yli 1000 μm , pienemmiksi, halkaisijaltaan 50–250 μm :ä ja 20–50 μm :ä suuriksi, erittäin kestäviksi muruiksi. Org. aineksen pitoisuuden lisäksi murujen kestävyys vaikuttaa org. aineksen laatu; mikrobien hajotustoiminnalle resistentit humusaineet sitovat maahiukkasia tiukimmin yhteen. Nämä mikrobien saavuttamattomat humusaineet lienevätkin osa mikromurujen sidosmekanismia, joiden sidosaineista ei ole tarkkaa tietoa, mutta jossa sidosvoimat ovat vahvat ja sidostyypit moninaiset. Muokkaussysteemillä ei TISDALLin ja OADESin (1980) mukaan siten ole juuri vaikutusta pienimpien murujen kestävyys.

2.2.5. RAVINTEET

Ravinteet jakaantuvat maan pintakerroksissa muokkausmenetelmille tunnusomaisesti. Kun maa kynnetään vuosittain, sekoittuvat maa ja siinä olevat ravinteet tasaisesti koko kyntökerrokseen (mm. BAEUMER ja BAKERMANS 1973, ALLMARAS ym. 1982, GEBHARDT ym. 1985, RILEY ym. 1985, GOSS ym. 1988, MATTSON 1988, PITKÄNEN 1988, WOODS 1989). Sen sijaan aurattomissa muokkausmenetelmissä fosfori, kalium sekä orgaaninen aine akkumuloituvat maan pintaan (BAEUMER ja BAKERMANS 1973, GEBHARDT ym. 1985, RILEY ym. 1985, GOSS ym. 1988, MATTSON 1988, PITKÄNEN 1988, WOODS 1989). GOSSin ym. mukaan (1988) fosforin akkumuloituminen ylipään 50 mm:iin suorakylvömenetelmässä vaikuttaa myös juurten jakautumiseen. Pitkällä aikavälillä fosforin ja kaliumin runsas rikastuminen maan pintaan saattaa koitua aurattoman viljelyn ongelmaksi (MATTSON 1988).

Kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet vähenevät maan pinnassa, kun maata ei kynnetä (BAEUMER ja BAKERMANS 1973, PITKÄNEN 1988). Samoin pH alenee kyntämättömän maan pintaosissa (BAEUMER ja BAKERMANS 1973, ALLMARAS ym. 1982, PITKÄNEN 1988). Maan typpitalouteen kyntämättömyys saattaa vaikuttaa negatiivisesti. Kyntämättömässä maassa typen mobilisaatio on heikompaa kuin kynnetyssä maassa (BAEUMER ja BAKERMANS 1973) ja lisäksi typen immobilisaatio saattaa lisääntyä, kun maa jätetään kyntämättä (MATTSON 1988). Toisaalta WOODSIN (1989) mukaan kyntämättömyys vähentää typen huuhtoutumista, koska kyntämättömässä maassa nitrifikaatio vähenee. Lisäksi mobilisoituva typpi on lähellä maan pintaa, jossa myös juuristo on tiheimmillään ja ottaa kasveihin kaiken mahdollisen irtautuvan typen.

2.2.6. MAAN BIOLOGINEN AKTIIVISUUS

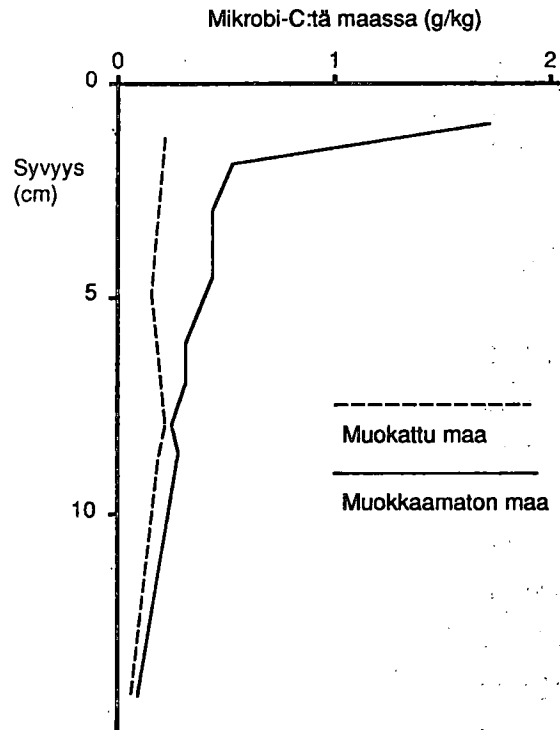
Maan biologisen aktiivisuuden pääkomponentit ovat juuristo ja mikroorganismit, joiden toiminta konsentroituu ylimpään 30 cm:iin (MIELKE ym. 1986). Kuivissa oloissa veden puute rajoittaa biologista aktiivisuutta, märissä oloissa taas hapen puute. LINNIN ja DORANIN (1984) mukaan maan biologinen toiminta on vilkkaimmillaan, kun 60 % huokostilavuudesta on veden täyttämiä. Lukua ei kuitenkaan voitane pitää absoluuttisena, sillä maan biologiseen aktiivisuuteen vaikuttavat myös useat muut tekijät, kuten maanmuokkaus, maan veden potentiaali sekä huokosten kokonaistilavuus, jatkuvuus ja tiheys.

Maanmuokkaus vaikuttaa voimakkaasti biologiseen aktiivisuuteen lähinnä muuttaen maan veden määrää ja jakaumaa, joiden mukaan vaihtelee myös aerobien ja anaerobien toimintojen osuus (LINN ja DORAN 1984). Tielanteissa, jolloin kynnetyssä maassa on liian vähän vettä mikrobeille, on kyntämättömässä maassa sitä usein optimaalisesti. Toisaalta kyntämättömään maahan muodostuu kynnettyä maata useammin anaerobit olosuhteet, mikä saattaa rajoittaa mikrobitoimintaa ja ohjaa sitä ei-toivottuun suuntaan (esim. denitrifikaatio lisääntyy, MIELKE ym. 1986). Maan epähomogeenisuudesta aiheutuu kuitenkin runsaasti anaerobisuuden ja aerobisuuden vaihtelua: aerobiseksi luokitellussa maassa on usein lukuisia pieniä anaerobisia kohtia (SIMOJOKI 1989).

Maan mikrobisen aktiivisuuden arvioimiseen käytetään useita menetelmiä. Tavallisinta lienee maan hengityksen mittaaminen (LIND ja EILAND 1989). Mikrobikannan muutoksia voidaan mitata myös hajotettavan selluloosan määrässä tapahtuvien muutosten perusteella (BAEUMER ja BAKERMANS 1973). Uusimmissa tutkimuksissa on mitattu maan ns. aktiivisen orgaanisen C:n määrää, joka on vain 1-3 % maan orgaanisen C:n kokonaismäärästä, mutta on huomattavasti herkempi maan viljelyssä tapahtuville muutoksille kuin maan orgaanisen C:n kokonaismäärässä tapahtuvat muutokset (SAFFIGNA ym. 1989, WOODS 1989). Yleensä määrittelysten vaikeutena on muokkausmenetelmien mikrobistoon aiheuttamien vaikutusten erottaminen muiden kasvutekijöiden vaikutuksista maan mikrobitoimintaan (BAEUMER ja BAKERMANS 1973).

Kynnöstä luopumisen ja muokkauksen vähentämisen on todettu lisäävän biologista aktiivisuutta maan pinnassa (BAEUMER ja BAKERMANS 1973, GEBHARDT ym. 1985, MIELKE ym. 1986, DIEZ ym. 1988, SAFFIGNA ym. 1989, WOODS 1989). GEBHARDTin ym. (1985) mukaan mikrobitoiminta lisääntyy siirryttäessä kevennettyihin muokkausmenetelmiin "dramaattisesti". Maan mikrobimassa keskittyy kynnetyssä maassa kyntökerroksen alaosiin, kun se kyntämättömissä maissa konsentroituu maan pinnan läheisyyteen muokauskerrokseen (DIEZ ym. 1988). SAFFIGNA ym. (1989) havaitsivat kuuden vuoden suorakylvön lisänneen 0-10 cm:ssä orgaanista C:tä 7 % ja mikrobien sisältämää, ns. aktiivista C:tä 14-21 % kynnetyyn maahan verrattuna. Sen sijaan mikrobien sisältämää N:n ja P:n määriin muokkaus ei näyttänyt vaikuttavan.

Bakteereja on kaikkialla maassa 0-20 m:n syvyydellä (LIND ja EILAND 1989), mutta niiden aktiivisuus riippuu saatavilla olevan orgaanisen C:n määrästä sekä vielä selvemmin maan ilmasta. Aktiivinen org. C keskittyy kyntämättömässä maassa voimakkaasti ylimpään yhteen cm:iin (WOODS 1989, kuva 4). Aktiivisuudet ovat yhtä suuret kynnetyssä ja kyntämättömässä maassa 3 cm:n alapuolella. Muokkaus vähentää mikrobimassaa koko 0-15 cm:n kerroksessa, mutta suurin ero on syvyydellä 0-1 cm. Maan eläimet (hyönteiset, lierot ja niveljalkaiset) liikkuvat kyntämättömän maan sisässä ja sen pinnalla lisäten orgaanisen aineksen mineraloitumista. Suurimmat muutokset biologisen aktiivisuuden suhteen tapahtuvat jo vuoden kuluessa kyntämättä jättämisestä. Vaikka tietoa aktiivisen orgaanisen aineksen suhteesta muun orgaanisen aineksen ke-



Kuva 4. Aktiivisen orgaanisen C:n jakaantuminen maassa (WOODS 1989).

rääntymiseen ja hajaantumiseen ei ole, WOODS (1989) arvelee, että aktiivisen orgaanisen C:n määrällä maan pinnassa voisi olla tärkeä merkitys sekä orgaanisen typen että hiilen kierrossa.

Kyntämättömyys suosii selvästi erityisesti pysyvissä käytävissä elävien lierolajien toimintaa (BAEUMER ja BAKERMANS 1973, EDWARDS 1981, SPRINGETT 1983, DIEZ ym. 1988, HAUKKA 1988b, MATTSON 1988, PITKÄNEN 1989). Allolobophora longa ja Lumbricus terrestris -populaatiot jopa 30-kertaistuvat, kun maata ei muokata lainkaan, vaan ainoastaan kylvetään suorakylvömenetelmällä (EDWARDS 1981). Lierojen lisääntyessä myös niiden toiminnan näkyvät vaikutukset, olkikasat ja lierokanavat lisääntyvät. BAEUMERin ja BAKERMANSin (1973) tutkimuksessa kyntämättömän maan pinnalla oli 55 lierojen kokoamaa olkikasaa neliömetriltä ja yhden cm:n syvyydellä 68 lierokanavaa neliömetriltä. Myös myyrät lisääntyvät kyntämättömillä pelloilla. Olkien hävittäminen maan pinnalta polttamalla sen sijaan hävittää myöskin lieroja (DIEZ ym. 1988). Myös

MATTSON (1988) toteaa lierojen ja muiden maata muokkaavien eliöiden lisääntyvän, kun maa jätetään kyntämättä, mikä kohentaa maan vesitaloutta parantamalla ojituksen toimivuutta ja helpottamalla juurten kehitystä. Erityisesti lierot vaikuttavat maannostumiseen (MATTSON 1988).

Kynnön negatiiviset vaikutukset lieropopulaatioon johtuvat useista tekijöistä (SPRINGETT 1983). Kyntö suoritetaan useimmiten syksyllä, jolloin lierojen aktiivisuus on kosteuden ja runsaana olevan ravinnon vuoksi suurimmillaan (PITKÄNEN 1988). Kyntö voi murskata mekaanisesti lieroja ja lierojen munia ja haudata niitä epäedullisiin kerroksiin. Kyntö hautaa myös pintakariketta käyttävien lierojen ravinnon maan alle, jossa se hajoaa maan pieneliöiden vaikutuksesta nopeasti. Lisäksi kyntö tuhoaa lierojen kanavaverkoston, mikä myöskin karkottaa lieroja (SPRINGETT 1983).

2.2.7. ROUTAANTUMINEN

Maan muokkaaminen muuttaa vain vähän maan routaantumista (THUNHOLM & HÅKANSSON 1988). Muokkaustavasta aiheutuvat välilliset vaikutukset (kasvinjätteen eristysvaikutus, lumipeitteen kerääntyminen) voivat sen sijaan olla maan lämpöoloissa suurempia kuin muokkauksen suoranaiset vaikutukset. Näistä johtuen kynnetty maa routaantuu yleensä syvemmälle kuin kyntämätön maa (MAASILTA 1959, SOVERI ja VARJO 1977, KIVISAARI 1979, BENOIT ym. 1988, THUNHOLM ja HÅKANSSON 1988).

Syksyllä kynnetty pelto kerää vähän lunta ja routaantuu syvälle (BENOIT ym. 1988). Kyntämättömässä maassa kasvinjätteet ja sänki pitävät lumen paikoillaan, keräävät lunta kinoksiksi ja siksi roudan syvyys jää matalaksi. Suomen oloissa routa tunkeutuu keskimäärin 20 % syvemmälle kynnetyissä kuin kyntämättömässä maassa (SOVERI ja VARJO 1977). Sen sijaan oloissa, joissa lunta ei ole, on routa samansyvyinen sekä kynnetyissä että kyntämättömässä maassa (BENOIT ym. 1988).

3. KOKEELLINEN OSA

3.1. TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksen päähuomio kohdistui luonnon maata muokkaaviin mekanismeihin. Tarkoituksena oli selvittää, kuinka maan omat toiminnot - liero- ja juurikanavaverkoston kehittyminen - vaikuttivat maan eräisiin, pääasiassa fysikaalisiin ominaisuuksiin, kun maata muokattiin eri intensiteeteillä. Olennaisimmat tutkittavat fysikaaliset suureet olivat maan vedenläpäisykyky, suurten huokosten tilavuus, huokostiheys, maan mekaaninen vastus ja kasveille käyttökelpoisen veden riittävyys. Maan rakennetta arvioitiin myös visuaalisesti. Kemiallisista ominaisuuksista määritettiin pääravinteiden ja orgaanisen hiilen pitoisuudet kerroksittain. Biologisen aktiivisuuden indikaattoreina olivat vedenläpäisykykyyn ja huokostilavuuteen olennaisesti vaikuttavat lierojen sekä liero- ja juurikanavien määrä.

Mitattavien ominaisuuksien perusteella tehtiin johtopäätöksiä luonnonprosessien tehokkuudesta maanmuokkaajina. Lisäksi selviteltiin, häiritsikö vai edistikö mekaaninen maanmuokkaus maan omia mekanismeja, millaiseksi kasvien kasvuympäristö eri muokkauskulttuureissa kehittyi ja millainen oli kasvuympäristön muutoksen todennäköinen vaikutus kasvien sadontuottokkykyyn.

3.2. AINEISTO JA MENETELMÄT

3.2.1. KENTTÄKOE

Tutkimukseen kuului v. 1983 perustettu kenttäkoe MTTK:lla (Kasvintuotannon tutkimuslaitos, maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusala)

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
A1B1	A1B2	A2B1	A2B2	A1B2	A2B2	A1B1	A2B1

9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
A2B2	A2B1	A1B1	A1B2	A2B1	A1B1	A2B2	A1B2

Koeala = 36 x 50 m²

Ruutu = 6 x 15 m²

A1B1 = kemiallinen kesanto

A1B2 = avokesanto

A2B1 = kylvömuokkaus kelajyrsimellä, ei kyntöä

A2B2 = kylvömuokkaus joustopiikkiäkeellä, syyskyntö

Kuva 5. Rakennekoe II:n kenttäkoekartta.

Jokioisten hiuesavimaalla (kuva 5). Kenttäkokeessa (Rakennekoe II) oli neljä koejäsentä: kemiallinen kesanto (A1B1), muokattu kesanto (A1B2), viljely kevyesti muokaten (A2B1) ja normaali viljely (A2B2). Muokkaamattomasta kesannosta kasvillisuus hävitettiin vuosittain glyfosaattiruiskutuksella ja maata ei kynnetty perustamisen jälkeen. Avokesannos-

Taulukko 1. Maan lajitekoostumus (%) kerranteittain ja kerroksittain.

Kerranne syvyys	S ($<2\mu\text{m}$)	Hs ($2-20\mu\text{m}$)	HHT ($20-60\mu\text{m}$)	KHT ($60-200\mu\text{m}$)	Hk ($>200\mu\text{m}$)	Maalaji
I kerranne						
0-25 cm	56,2	23,6	9,4	6,6	4,2	HeS
25-50 cm	65,4	19,3	7,9	4,5	2,9	AS
50-100 cm	80,0	15,4	3,4	1,2	0,0	AS
II kerranne						
0-25 cm	43,6	28,2	16,0	7,5	4,7	HeS
25-50 cm	53,9	25,2	13,3	5,0	2,6	HeS
50-100 cm	70,4	18,8	8,0	2,8	0,0	AS
III kerranne						
0-25 cm	50,8	26,0	12,1	7,0	4,1	HeS
25-50 cm	65,3	20,2	8,3	3,9	2,3	AS
50-100 cm	80,2	12,4	5,7	1,7	0,0	AS
IV kerranne						
0-25 cm	41,2	28,7	16,2	9,0	4,9	HeS
25-50 cm	42,7	27,8	16,1	8,6	4,8	HeS
50-100 cm	61,9	23,7	11,2	3,2	0,0	AS

ta kasvillisuus hävitettiin kesäisin muokkaamalla ja lisäksi maa kynnettiin vuosittain. Kevyt muokkaus suoritettiin kelajyrsimellä (vuoden 1985 puutarhajyrsimellä) eikä maata kynnetty lainkaan. Normaali viljely kynnettiin sadonkorjuun jälkeen ja äestettiin ennen kylvää. Koe oli lohkoittain satunnaistettu.

Taulukossa 1 on esitetty koekentän maan lajitekoostumus kerranteittain ja kerroksittain. Maanäytteet otettiin ruuvikairalla, kaksi näyttä/ruutu. Lajitekoostumus määritettiin MTTK:n Kasvintuotannon tutkimuslaitoksella ELOSEN (1971) pipettimenetelmällä. Maalajit on nimetty JUUSELAN ja WÄREEN (1956) maalajikolmion mukaan.

Koejäsenet A1B2 ja A2B2 kynnettiin syksyllä sadonkorjuun jälkeen tavallisimmin syys-lokakuun vaihteessa ruutujen pitkittäissuuntaan. Kyn-tösuunta vaihtui päinvastaiseksi vuosittain syvien vakojen ja harjujen välttämiseksi. Kevyesti muokatut ruudut jyrrettiin kelajyrsimellä kah-

desti juuri ennen kylvöä. Normaalin viljelyn ruudut äestettiin joustopiikkiäkeellä 2-3 kertaa samoin juuri ennen kylvöä. Kylvettyjä ruutuja lannoitettiin keväisin 600 kg:lla normaali Y-lannosta. Normaalin viljelyn ruudut sekä kevyesti muokatut ruudut vuodesta 1986 alkaen kylvettiin normaalilla, 2,0 m:n levyisellä kylvölannoittimella. Ennen vuotta 1986 kevyesti muokatut ruudut kylvettiin kevyellä koeruutukylvökoneella. Kylvömäärä oli 500 itävää siementä neliömetrille, viljelykasvi oli v.-83 ohra ja v.-84-89 Luja-kevätheinä.

Normaalisti viljeltyjen ruutujen sato ja kevyesti muokattujen ruutujen sato vuodesta 1986 lähtien korjattiin normaalilla koeruutuleikkuupuumurilla. Kevyesti muokattujen ruutujen sato niitettiin ja seivästettiin käsin vuoteen 1985 asti ja varisemistappiot olivat suuret. Siten sadot ennen vuotta 1986 eivät ole vertailukelpoisia eikä niistä esitetä tässä tuloksia.

Rikkakasvit myrkytettiin hormonivalmisteilla viljellyiltä ruuduilta vuosittain. Kasvitauteja ei esiintynyt niin että niitä olisi torjuttu sienimyrkyillä. Kemiallinen kesanto ruiskutettiin glyfosaatilla vähän ennen kuin rikkakasvit ennättivät siementämisasteelle (kesä-heinäkuun vaihe). Vuonna 1987 tuulisuus haittasi ruiskutusta ja myrkkyy vioitti myös joitakin viljeltyjä ruutuja. Vuonna 1988 ruiskutus siirrettiin sadonkorjuun jälkeen. Avokesanto äestettiin kylvömuokkauksen yhteydessä, lisäksi 2-3 kertaa kesässä. Vuonna 1988 avokesanto muokattiin kevätäestyksen lisäksi kahdesti kelajyrsimellä.

3.2.2. MENETELMÄT

3.2.2.1. RAVINNEANALYYSIT

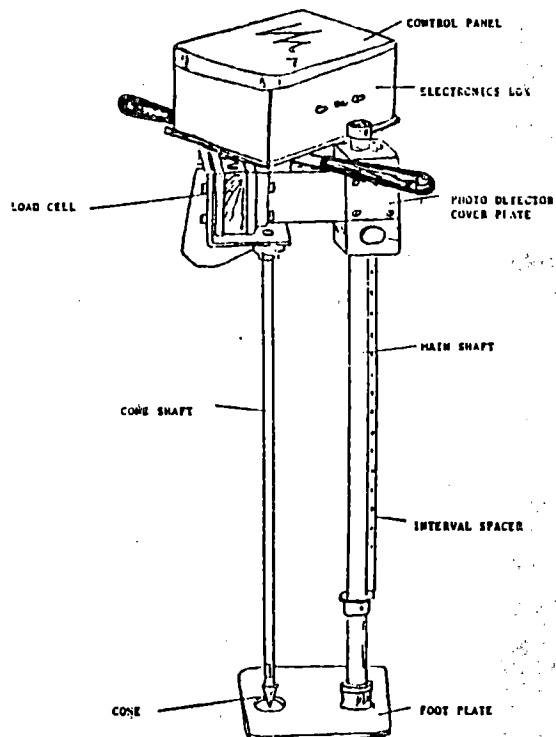
Maanäytteiden viljavuus (pH, johtoluku, Ca, K, Mg ja P) tutkittiin koeruuduittain. Näytteistä määritettiin myös orgaanisen hiilen pitoisuudet. Näytteet otettiin keskikesällä lusikkakairalla kahdesta kohdasta koeruutua ja saman ruudun näytteet sekoitettiin. Analyysit suoritettiin MTTK:n KTL:n Maantutkimuksen tutkimusosalalla. Maan pH mitattiin maa-vesi-suspensiosta (1:2,5 v/v). Maan ravinnetila määritettiin fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin osalta ammoniumasetatituuhteesta (pH 4,65). Menetelmä on sama kuin Viljavuuspalvelu OY:n käyttämä menetelmä (VUORINEN JA MÄKITIE 1955).

Maanäytteiden orgaanisen hiilen pitoisuudet määritettiin SIPPOLAN (1982) kuvaamalla kuivapolttomenetelmällä (LECO CR-12). Tulokset on esitetty orgaanisen hiilen pitoisuuksina (%) kussakin maakerroksessa. Orgaanisen aineksen pitoisuuksiksi nämä arvot voidaan muuttaa käyttämällä kerrointa 1,724 (ALLISON 1969).

3.2.2.2. MAAN MEKAANINEN VASTUS

Maan mekaaninen vastus eri syvyyksissä mitattiin penetrometrillä. Tarkoituksena oli selvittää koejäsenten kyky kantaa koneita. Lisäksi pyrittiin etsimään kynnetyissä ruuduissa mahdollinen kynnön alapuolinen tiivistymä eli ns. kyntöantura. Penetrometrin oletettiin antavan viitteitä myös juurten tunkeutumismahdollisuuksista maahan.

Mittauksiin käytettiin skotlantilaisvalmisteista penetrometriä (The Bush recording penetrometer, kuva 6), johon oli yhdistetty tiedon tallennin eli ns. datalogger. Käytetty penetrometri mittaa mekaanisen vastuksen 3,5 cm:n välein 15 eri syvyydestä 0-52,5 cm:n matkalta (ANON. 1987). Kun penetrometrin kartiomainen pää työnnetään maahan, ilmaisee penetrometri kartion maahan tunkeutumista vastustavan voiman



Kuva 6. Maan mekaanisen vastuksen tutkimiseen käytetty penetrometri (ANON. 1979).

(load, kg), josta saadaan ns. kartioresistanssi (MPa) kertomalla saatu arvo luvulla 0,0762. Kustakin pistosta ja piston 15 eri kerroksesta saadut arvot rekisteröityvät tiedontallentimeen, josta arvot voidaan siirtää elektronisesti mikrotietokoneelle tietojen käsittelyä varten. Tarkemmin penetrometrin toimintaperiaatetta selostavat ANDERSSON ym. (1980).

Penetrometrillä pistettiin kymmenen pistoa joka ruudusta eli jokaisesta ruudusta saatiin kymmenen lukemaa viidestätoista syvyydestä. Tilastollisessa analyysissä yksittäisen ruudun pistot käsiteltiin toistoina. Mittaus tehtiin heti kylvön jälkeen (17.5.), jotta maa olisi ollut mahdollisimman homogeeninen kosteustilan suhteen, sillä mm. BILLOT (1982) on todennut kosteuden vaihtelun ja muun epähomogeenisuuden lisäävän penetrometrimittauksen epäluotettavuutta. Kuitenkin MOOLMAN ja VAN HUYSSSTEEN (1989) pitävät penetrometrimittausta luotettavana menetelmänä määrittää maan mekaanisen vastuksen pystysuuntaista vaihtelua, kun maa on kenttäkapasiteetissa ja pistoja tehdään riittävästi.

3.2.2.3. LÄPÄISYKYVYN MITTAUS

Maan kykyä läpäistä vettä mitattiin kolmella eri menetelmällä: infiltrrometrimenetelmällä, käänteisellä Auger hole -menetelmällä eli ns. kolomittauksella ja laboratoriomittauksella.

3.2.2.3.1. INFILTRROMETRIMENETELMÄ

Maan ylempien kerrosten vedenläpäisykyky mitattiin infiltraatio- renkaalla (BOUWER 1986, kuva 7). Renkaat olivat halkaisijaltaan 30-32 cm ja ne lyötiin kahteen syvyyteen, maan pintaan (läpäisykyky syvyydestä 0-15 cm) ja kyntökerroksen alapuolelle (23-33 cm). Alemmasta mittaussyvyydestä jankon yläpuolinen maa poistettiin varovasti lapiolla ja lastalla ja irtonaiset muruset imuroitiin huokosten tukkeutumisen estämiseksi. Imuroidusta pinnasta laskettiin lieronreikien määrä ja pinta valokuvattiin (liitekuvat 1a-1d). Ylemmässä mittaussyvydessä maan pinnalle levitettiin hiekkaa maan pinnan liettymisen estämiseksi. Maa pyrittiin saattamaan kenttäkapasiteettiin kastelemalla mittauskohdat päivää ennen mittausta runsaalla vedellä.

Infiltraatiorenkaan maanpäällinen osa, n. 10 cm, täytettiin vedellä ja veden pinnalle asetettiin koho, jonka vajoamista seurattiin sopivin aikaväleihin. Nopeasti tyhjentyneet ($<1h$) renkaat täytettiin uudelleen vedellä ja mittaus suoritettiin toistamiseen. Nopeimmin läpäisseistä maista infiltraatio mitattiin kolme kertaa.

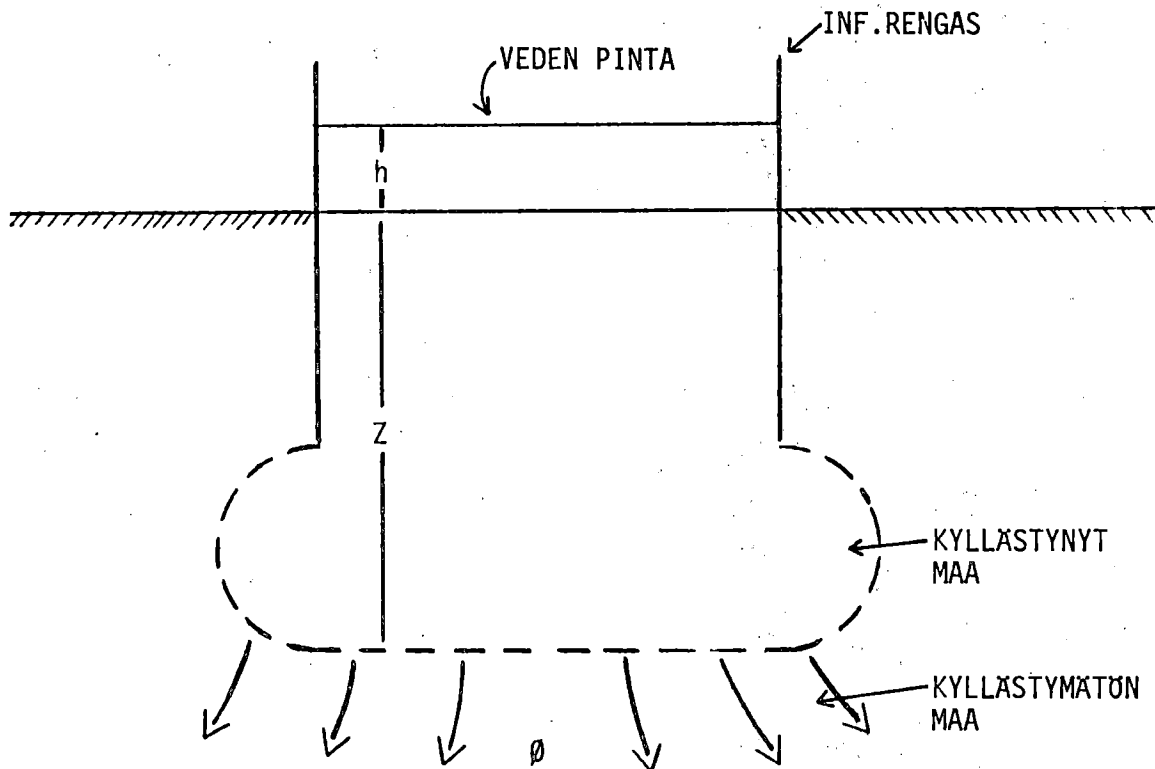
Kyllästämättömässä maassa veden infiltraatio (V , cm/h) on Darcyn lain mukaan:

$$V = K_1 \frac{\varnothing + z + h}{z} \quad (1)$$

missä K_1 = kyllästämättömän maan vedenjohtokyky (cm/h), \varnothing = imu (cm) kyllästyneen ja kyllästämättömän maan rajassa, z = kyllästymiskerroksen paksuus (cm) ja h = veden pinnan korkeus. Kun maa kyllästyy vedellä, kasvaa z ja $z \gg h, \varnothing$ ja lauseke $(\varnothing + z + h) / z$ ja

$$V \approx K_1 \approx K \quad (2)$$

ja K =kylläisen maan vedenjohtokyky (ANON. 1983 b). Vaihtelun mittauksen aikana ja toistojen välillä oletettiin johtuvan mittausvirheestä



Kuva 7. Infiltraatiomittaus.

ja mittausarvoksi laskettiin kokonaisinfilttraatio mittauksen alusta mittauksen loppuun ja mittaustulokseksi tilastolliseen käsittelyyn valittiin toistojen keskiarvo.

3.2.2.3.2. KÄÄNTEINEN AUGER HOLE -MENETELMÄ

Käänteisellä Auger Hole -menetelmällä (ANON 1983 a) määritettiin maan vedenläpäisykyky kahdesta syvyydestä (33 cm ja 50 cm). Halkaisijaltaan 8 cm:n lusikkakairalla porattiin maahan reiät, joiden pohjalle tipautettiin vähän kvartsihiekkää liettymisen estämiseksi. Maat pyrittiin saattamaan kyllästettyyn tilaan kastelemalla mittauskohtia runsaalla vedellä ennen reikien poraamista. Reikään kaadettiin vettä noin 15 cm ja mittaan yhdistetyn kohon, mittatelineen ja kellon avulla seurattiin veden pinnan vajoamisnopeutta kolossa. Mittaus tehtiin molemmista päistä ruutua.

Tulokset laskettiin johtamalla Darcyn laista:

$$Q = K \times A \times \frac{\Delta h}{\Delta l} \quad (3)$$

missä

Q = maan imemä vesimäärä

K = hydraulinen konduktiviteetti

A = kontaktipinta-ala

Δh = vedenpinnan etäisyys kyllästyneen ja kyllästymättömän maan rajasta

Δl = kyllästyneen kerroksen paksuus

Maa oletettiin vedellä kyllästyneeksi eli keskimäärin gradientti $\Delta h/\Delta l \approx 1$. AURA (1990) on elementtimenetelmällä laskenut oletuksen melko hyvin täsmäävän. Pyöreässä reiässä kontaktipinta-ala on kolon pohjan ja vai-
pan summa:

$$A = \pi r^2 + 2\pi r h \quad (4)$$

missä h =veden korkeus kolossa. Vastaavasti Q saadaan veden pinnan alenemisesta:

$$Q = \pi r^2 (dh/dt) \quad (5)$$

missä dh on veden pinnan korkeuden muutos aikavälillä dt . Yhdistämällä lausekkeet (3), (4), ja (5) saadaan

$$\pi r^2 (dh/dt) = K \times \pi r (r+2h) \quad (6)$$

Sieventämällä ja sijoittamalla $r=4$ saadaan

$$2(2+h)^{-1} dh = K \times dt \quad (7)$$

Integroimalla yhtälö saadaan

$$2(\ln(2+h_0) - \ln(2+h_1)) = K(t_1 - t_0) \quad (8)$$

Arvot h_0, h_1, t_0 ja t_1 mitattiin ja hydraulinen konduktiviteetti K laskettiin niiden perusteella. Tilastolliseen käsittelyyn valittiin hydraulisen konduktiivisuuden arvot t_1 :n arvoilla 30 s, 1 min, 5 min ja 15 min, kun kolon syvyys oli 33 cm, sekä t_1 :n arvoilla 10 min, 30 min, 1 h ja 2 h, kun kolon syvyys oli 50 cm. Eri t_1 :n arvoilla saatuja K :n arvoja vertaamalla pyrittiin saamaan kuva kyllästymisen onnistumisesta ja mittausmenetelmän luotettavuudesta.

3.2.2.3.3. LABORATORIOMITTAUS

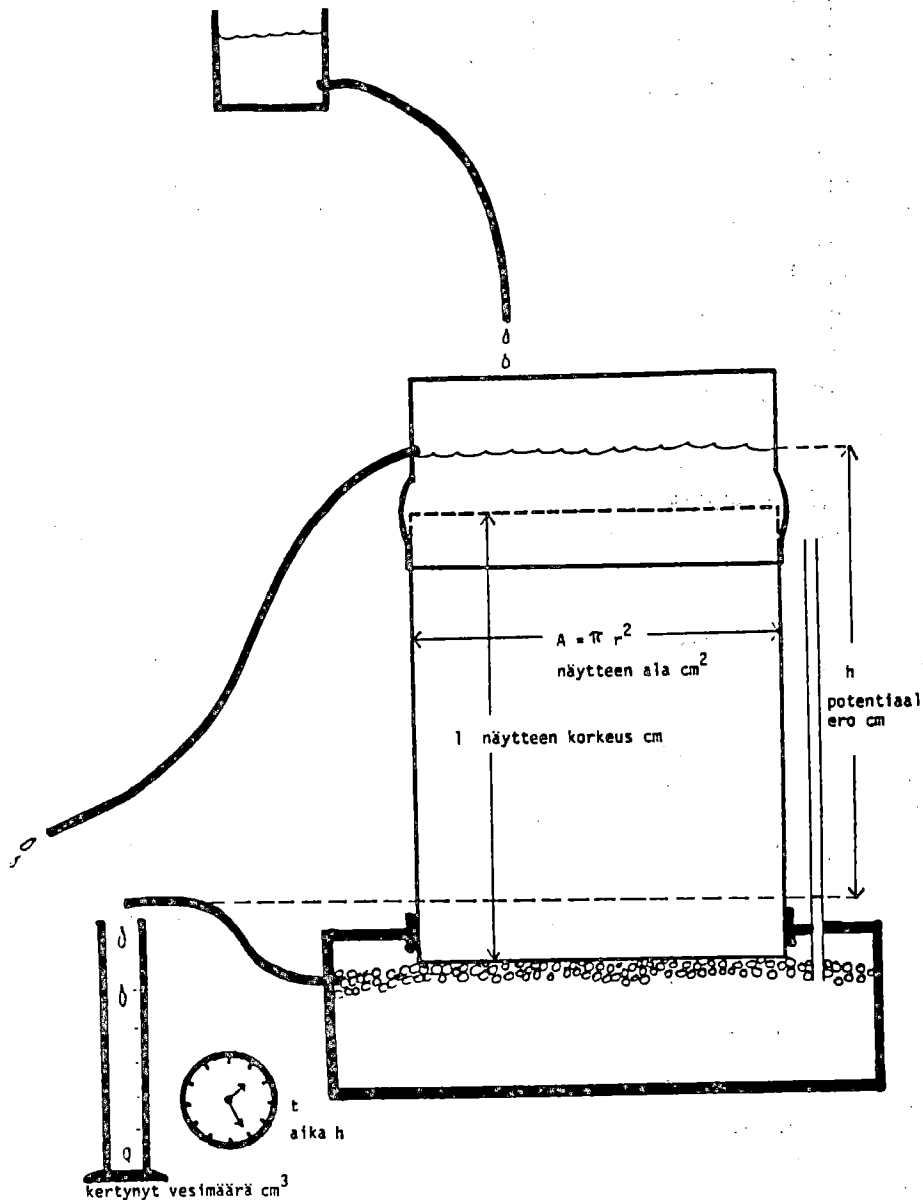
Heti kylvön jälkeen koekentästä kerättiin halkaisijaltaan 15 cm paksut lieriönäytteet laboratoriomittauksia varten. Näytteet otettiin lyömällä maahan 60 cm pitkä viemäriputki, jonka tehollinen pituus ja samalla näytteen syvyys oli n. 56 cm. Näytteet sahattiin kolmeen osaan: 0-20 cm, 20-38 cm ja 38-56 cm. Lieriön sahatuista päistä kuorittiin liis- taantunut pinta pois ja saatu murtopinta valokuvattiin ja suurennusla- sin alla siitä laskettiin lieronreiät. Murtopinnoista otetut diakuvat heijastettiin ruudukolle, josta laskettiin juurikanavatiheys.

Katkaistut ja käsitellyt näytteet mitattiin tarkasti ja ne asetettiin kostumaan vedenjohtokykymittauslaatikkoon (kuva 8). Näytteen pintaan asetettiin suojaksi kvartsihiekkää kankaaseen käärittynä. Näytteiden annettiin paisua vedellä kyllästettyyn tilaan vähintään viikon, jonka jälkeen aloitettiin varsinainen mittaus juoksuttamalla vettä näytteen läpi niin kauan että potentiaaliero h (cm, kuva 8) pysyi vakiona. Valittiin näytekohtaisesti sopiva aika t (h), jona aikana näytteen läpi

valunut vesimäärä Q (cm^3) mitattiin mittalasilalla. Mittaus toistettiin 2-5 kertaa. Hydraulinen konduktiviteetti K (cm/h) laskettiin Darcyn laista johdetusta kaavasta (MARSHALL ja HOLMES 1988):

$$K = \frac{Q l}{h A t}$$

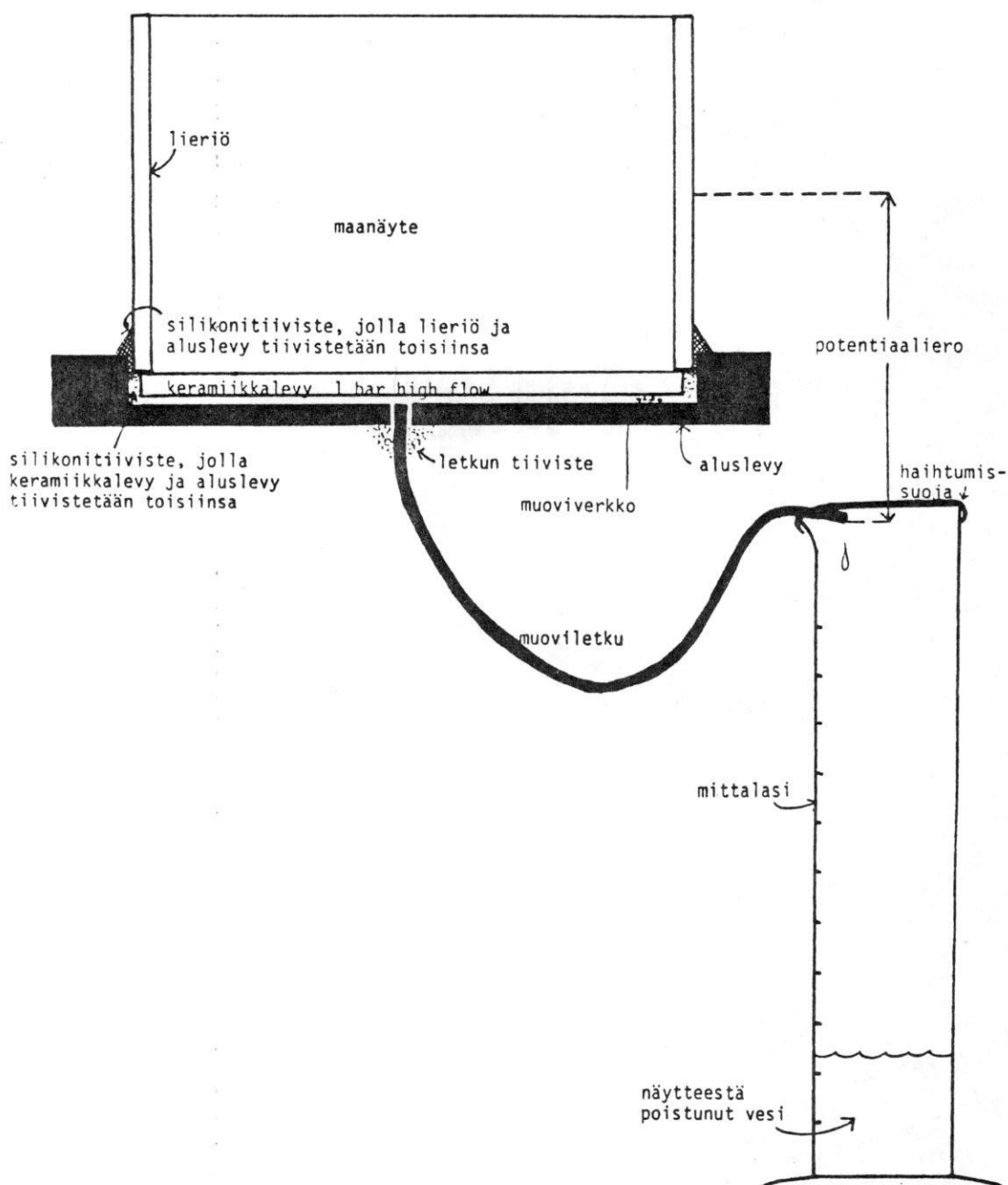
jossa Q on vesimäärä toistojen keskiarvona, A näytteen pinta-ala ($176,63 \text{ cm}^2$) ja l näytteen pituus (cm).



Kuva 8. Vedenjohtokyvyn mittaaminen laboratoriossa (PIIRROS MYLLYS).

3.2.2.4. HUOKOSTILAVUUDEN MÄÄRITYS

Suuret huokokset määritettiin alipainemenetelmällä (RICHARDS ja FIREMAN 1943). Lämpäisevyysmittauksen jälkeen lieriönäytteen pinnan yläpuolinen vesi imettiin pois ja näytteen vapaan veden annettiin valua yön yli mittalasiin, ja valuneen veden määrästä laskettiin karkeimpien huokosten ($\varnothing > 300 \mu\text{m}$) osuus näytteen tilavuudesta. Tämän jälkeen näyte siirrettiin keraamiselle levyille (1 bar high flow, kuva 9), jossa näytteestä määritettiin suurten huokosten (30–300 μm) tilavuus. Aluksi näyte kyllästettiin uudelleen vedellä, minkä jälkeen se tasapaino-



Kuva 9. Suurten huokosten määrittäminen (PIIRROS MYLLYS).

tettiin -10 cm:n potentiaalieroon. Imua lisättiin -40 cm:iin, ja tasapainottumisajan jälkeen (2-3 vrk) punnittiin näytteestä imun lisäämisen jälkeen poistunut vesi, josta saatiin niiden huokosten tilavuus, joilla halkaisija on välillä 75 μm - 300 μm . Imu lisättiin edelleen -100 cm:iin, ja poistuneen vesimäärän painosta saatiin huokostilavuus välillä 30 - 75 μm .

3.2.2.5. LIEROPOPULAATION MÄÄRITYS

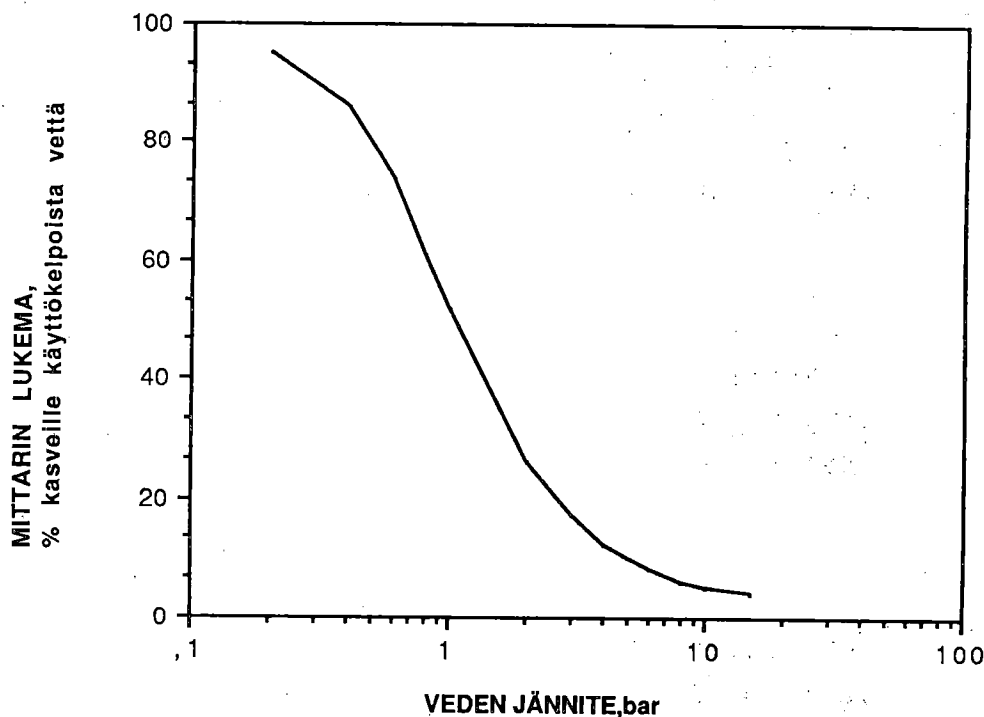
MTTK:n Kasvinsuojeluosasto määrittäi kenttäkokeesta lierojen runsauden sekä syksyllä 1987 (HAUKKA 1988a) että syksyllä 1988 (NUUTINEN 1990) formaliinimenetelmällä (RAW 1959, HAUKKA 1988b). Kahta formaliiniliuosta, joiden väkevyys oli 0,25 ja 0,5 prosenttia, kaadettiin kumppaakin kahdesti kymmenen minuutin välein 0,5 m²:n alalle kymmenen litraa/kaato. Lierot, jotka nousivat 40 minuutin aikana pintaan, kerättiin, ja yksilöiden laji sekä kuivapaino määritettiin. Vuonna 1988 lieromääritys toistettiin ruuduittain neljänä kerranteena.

Formaliinimenetelmällä ei saada kerättyä kaikkia lieroja ja menetelmä toimii eri tehokkuudella eri lajiryhmien kohdalla. Pienikokoisten lierojen määrä jää todellisuutta pienemmäksi ja inaktiivisessa tilassa olevat yksilöt jäävät saamatta. Samanlaisissa oloissa toistettuna menetelmällä saadaan kuitenkin vertailukelpoisia tuloksia (BOUCHE ja GARDNER 1984).

3.2.2.6. MUUT MÄÄRITYKSET

Maan veden tilassa tapahtuvia muutoksia seurattiin kipsiblokkien avulla (ANON. 1989). Kipsiblokki rakentuu kahdesta verkkomaisesta metallielektrodista, jotka on valettu kipsiin. Veden jännitteen alentuessa kipsin sisältämä vesimäärä vähenee ja elektrodien välinen resistanssi kasvaa. Resistanssi voidaan kalibroida niin, että mittausarvoksi luetaan kasveille käyttökelpoisen veden määrä prosentteina kenttäkapasiteetista (kuva 10.). Kipsiblokkien epätarkkuudesta johtuva vaihtelu on melko pientä (AURA 1985), joten prosenttiluvut otettiin sellaisenaan tilastolliseen käsittelyyn.

Kipsiblokit kairattiin maahan kahteen syvyyteen, 20 ja 40 cm:iin. Veden jännitteen muutokset mitattiin kahdesti viikossa.



Kuva 10. Valmistajan ilmoittama vedenpidätyskäyrä kipsiblokeille (ANON. 1989).

Syksyllä puinnin jälkeen maasta otettiin lisää 60 x 15 cm lieriöitä. Jokaista koejäsentä kohti halkaistiin pyörösahalla yksi lieriö ja lieriöön koverrettiin murtopinta. Pystysuuntaisista profiileista tehtiin silmävaraisia havaintoja ja ne valokuvattiin (liitekuva 2).

3.2.2.7. TILASTOLLISET KÄSITTELYT

Tilastollisissa laskuissa käytettiin apuna MTTK:n SPSSX- (ANON. 1988) ja SAS- (ANON. 1985) ohjelmistoja. Tilastollisen analyysin menetelmänä oli varianssianalyysi ja koe käsiteltiin yleisimmin lohkoittain satunnaistettuna. Varianssianalyysi suoritettiin joka havaintokerralle (satotulokset, kipsiblokkimittaukset, auger hole -mittaukset) ja -kerrokselle (viljavuus, maan mekaaninen vastus, läpäisykyky, huokostilavuus) erikseen. Lierojen kuivapaino käsiteltiin logaritmuunnoksena ja lukumäärä neliöjuurimuunnoksena, muut mittausarvot otettiin tilastolliseen käsittelyyn sellaisinaan. Juurikanavahavainnoille varianssianalyysi suoritettiin faktoriaalisena siten, että kyntö/kyntämättömyys ja viljelykasvi/ei viljelykasvia olivat faktoreina. Pienin merkitsevä ero laskettiin Tukeyn testillä ja merkitseväksi katsottiin 95 % todennäköisyys. Lisäksi testattiin suurten huokosten huokostilavuuden, lieronreikien lukumäärän ja läpäisykyvyn riippuvuuksia askeltavalla regressioanalyysillä.

3.3. TULOKSET

3.3.1. SATOTULOKSET

Taulukossa 2 on esitetty satotulokset koejäseniltä A2B1 ja A2B2 vuosina 1986–1989. Liitteessä 3 on esitetty kuukausittaiset keskilämpötilat ja sademäärät kasvukausilta 1986–1989. Aikaisemmat satotulokset vuosilta 1983–1985 eivät ole vertailukelpoisia epäyhtenäisen korjuutekniikan vuoksi eikä niitä siksi esitetä. Lisäksi vuoden 1987 tuloksiin vaikutti glyfosaatin kulkeutuminen viljellyille ruuduille kemiallisen kesannon ruiskutuksen yhteydessä, ja ko. vuoden keskiarvoon sekä tilastolliseen käsittelyyn valittiin mukaan vain kolme kerrannetta. Tämä vähensi tulosten merkitsevyyttä, mutta koejäsenten väliseen paremmuuteen se ei liene vaikuttanut.

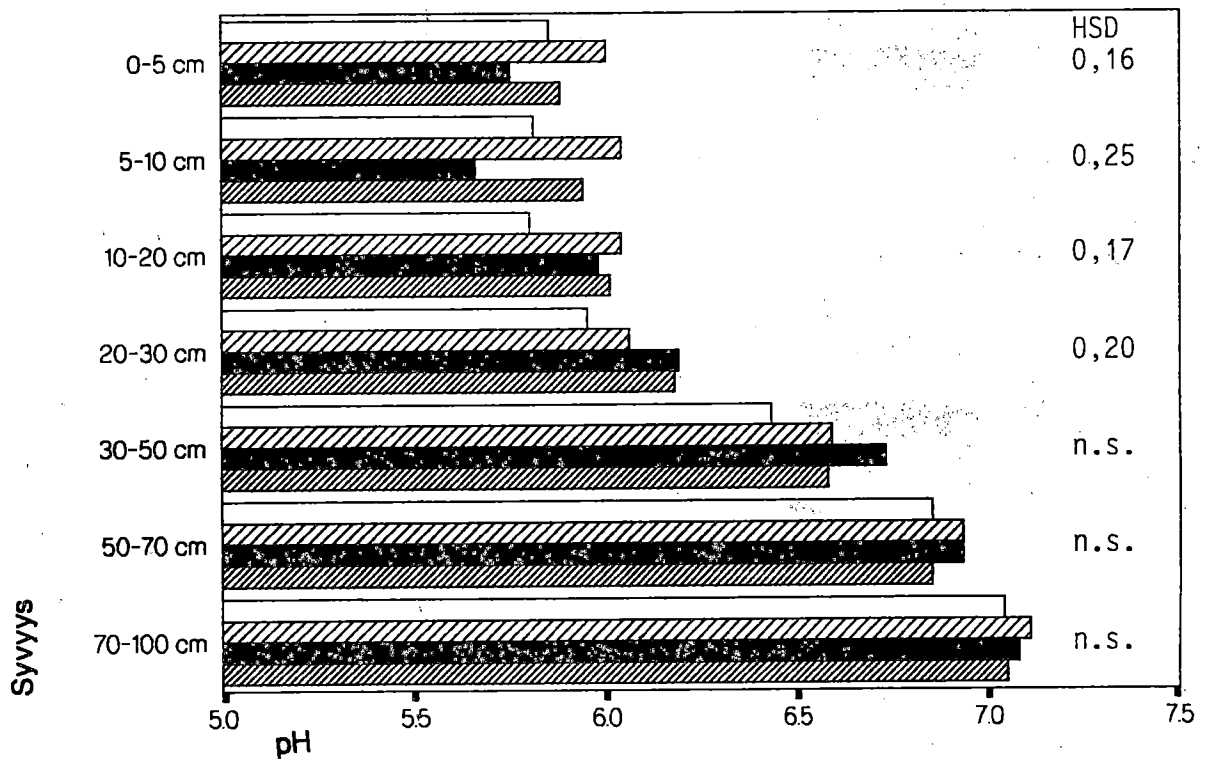
Kevyesti muokatuilta ruuduilta saatiin yhteensä 20 % suurempi sato kuin kynnetyiltä ruuduilta. Kevyesti muokatun koejäsenen satotaso oli kaikkina muina vuosina normaalin viljelyn satotaso korkeampi, paitsi lämpöoloiltaan epäedullisena ja kosteana vuonna 1987, jolloin kyntämällä viljelystä saatiin 12 % parempi sato. Tämä lienee johtunut kynnetyn maan nopeammasta kuivumisesta ja lämpenemisestä keväällä. Muina vuosina, erityisesti 1988, korostui kyntämättömyyden vesitaloutta tehostava vaikutus. Yleensä kyntämättömyys näyttää tasanneen satotason vuosittaista vaihtelua.

Taulukko 2. Satotulokset (kg/ha, p=varianssianalyysin merkitsevyytaso).

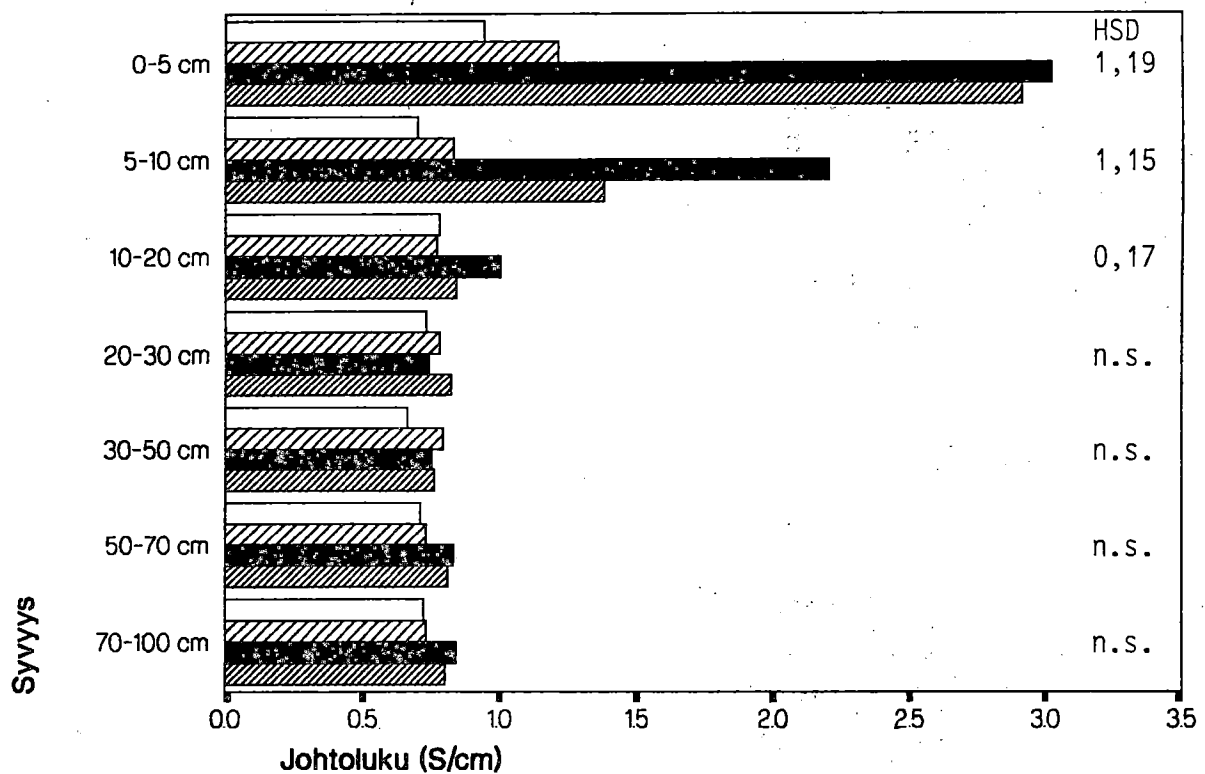
Koejäsen	1986	1987	1988	1989	keskim.
Kevyt muokkaus	2846	3907	3470	2378	3150
Normaali viljely	2489	4385	1520	2053	2612
p	0,062	0,943	0,001	0,063	0,009

3.3.2. MAAN VILJAVUUS

Maan pH ja johtoluku sekä uuttuvan kalsiumin, kaliumin, magnesiumin ja fosforin pitoisuudet esitetään kuvissa 11–16. Muokkaamisintensiteetin vähentäminen oli alentanut maan pH:ta hieman joissakin kerroksissa.



Kuva 11. Maan happamuus (□ =kemiallinen kesanto, ▨ =muokattu kesanto, ■ =kevyt muokkaus, ▩ =normaali viljely, HSD=Tukey 5%)



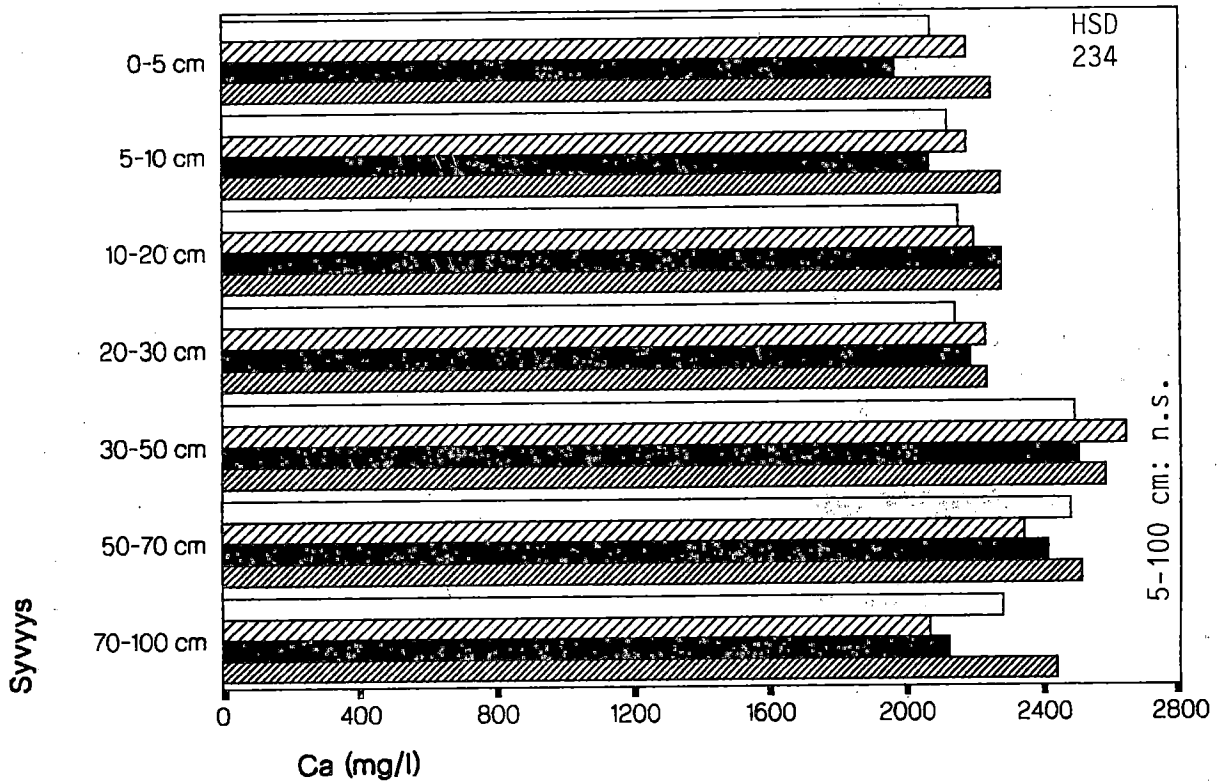
Kuva 12. Johtoluku, S/cm (□ =kemiallinen kesanto, ▨ =muokattu kesanto, ■ =kevyt muokkaus, ▩ =normaali viljely, HSD=Tukey 5%)

Siten kevyesti muokatun maan pH oli pienempi kuin muokatun kesannon pH 0-10 cm:n syvyydessä ja pienempi kuin normaalin viljelyn pH 5-10 cm:n syvyydessä. Kemiallisen kesannon pH oli muita pienempi 10-20 cm:n syvyydessä ja molempia viljeltyjä käsittelyjä pienempi 20-30 cm:n syvyydessä. Kevyesti muokatun koejäsenen pH oli erityisen alhainen lannoitteiden sijoittamiskerroksessa. Erot pH-arvoissa saattoivat kuitenkin osittain olla epätodellisia, sillä mitattaessa pH vesilietoksesta maan suolapitoisuus vaikuttaa mittausarvoon (VUORINEN ja MÄKITIE 1955).

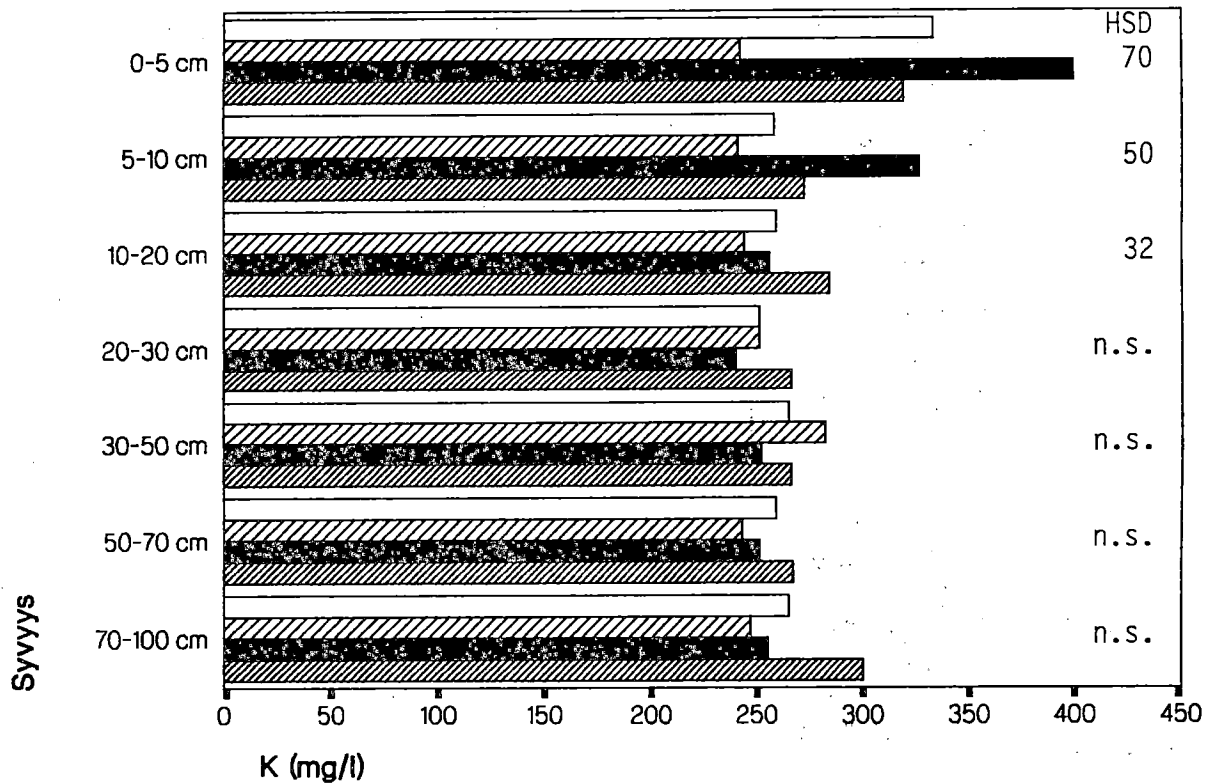
Viljely kevyesti muokaten oli odotetusti vähentänyt kalsiumin pitoisuutta ylimmästä 0-5 cm:n kerroksesta normaaliin viljelyyn verrattuna. Ero oli kuitenkin verrattain vähäinen. Muissa kerroksissa ei kalsiumpitoisuuden eroja ollut. Kaliumpitoisuuksissa erot sen sijaan ulottuivat 20 cm:n syvyyteen, joskin merkitsevimmät erot olivat pintakerroksessa, johon kalium oli odotusten mukaisesti konsentroitunut, kun maata ei ollut kynnetty. Pintakerroksessa (0-5 cm) kaliumia oli kevyesti muokatussa koejäsenessä enemmän kuin muissa käsittelyissä kemiallista kesantoa lukuunottamatta, ja kevyesti muokattujen ruutujen muita korkeampi kaliumpitoisuus ulottui vielä 5-10 cm:n kerrokseenkin. Sen sijaan avokesannoiti oli inaktivoinut kaliumia, sillä muokatun kesannon kaliumluku oli muita alhaisempi 0-5 cm:ssä ja vielä 10-20 cm:ssäkin muokatun kesannon kaliumluku oli pienempi kuin normaalissa viljelyssä.

Kun maa jätetään kyntämättä, liikkuu magnesiumia helposti valumaveden mukana ja maan pinnan magnesiumpitoisuus alenee (PITKÄNEN 1988). Magnesiumin pitoisuudet eivät rakennekokeessa kuitenkaan eronneet toisistaan merkitsevästi. Vesiliukoisen fosforin konsentraatiot sen sijaan olivat viljellyissä ja lannoitetuissa käsittelyissä suuremmat kuin kesannoissa 0-10 cm:n kerroksessa. Kuitenkaan fosforin rikastumista pintakerrokseen kyntämättömissä maissa ei havaittu. Kemiallisessa kesannossa fosforiluku näyttää säilyneen paremmin kuin muokatussa kesannossa, vaikka ero ei ollutkaan merkitsevä. Toisaalta kemiallinen kesanto ei eronnut merkitsevästi viljellyistäkään käsittelyistä fosforiluvun suhteen.

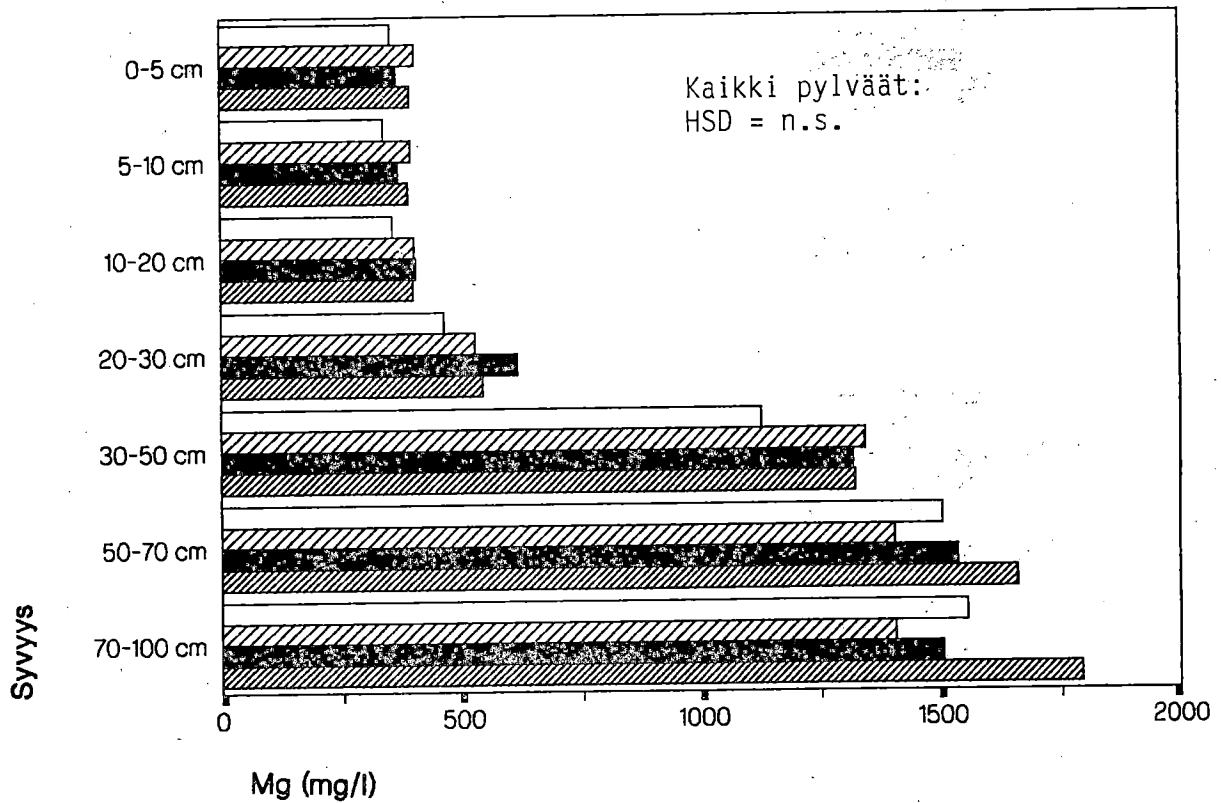
Maan johtoluvussa näkyy lannoittamisen vaikutus. Johtoluku oli kesannoissa pienempi kuin viljellyissä käsittelyissä 0-5 cm:n syvyydessä. Kevyesti muokattujen ruutujen johtoluku oli kesantojen johtolukua suurempi 5-20 cm:n syvyydessä.



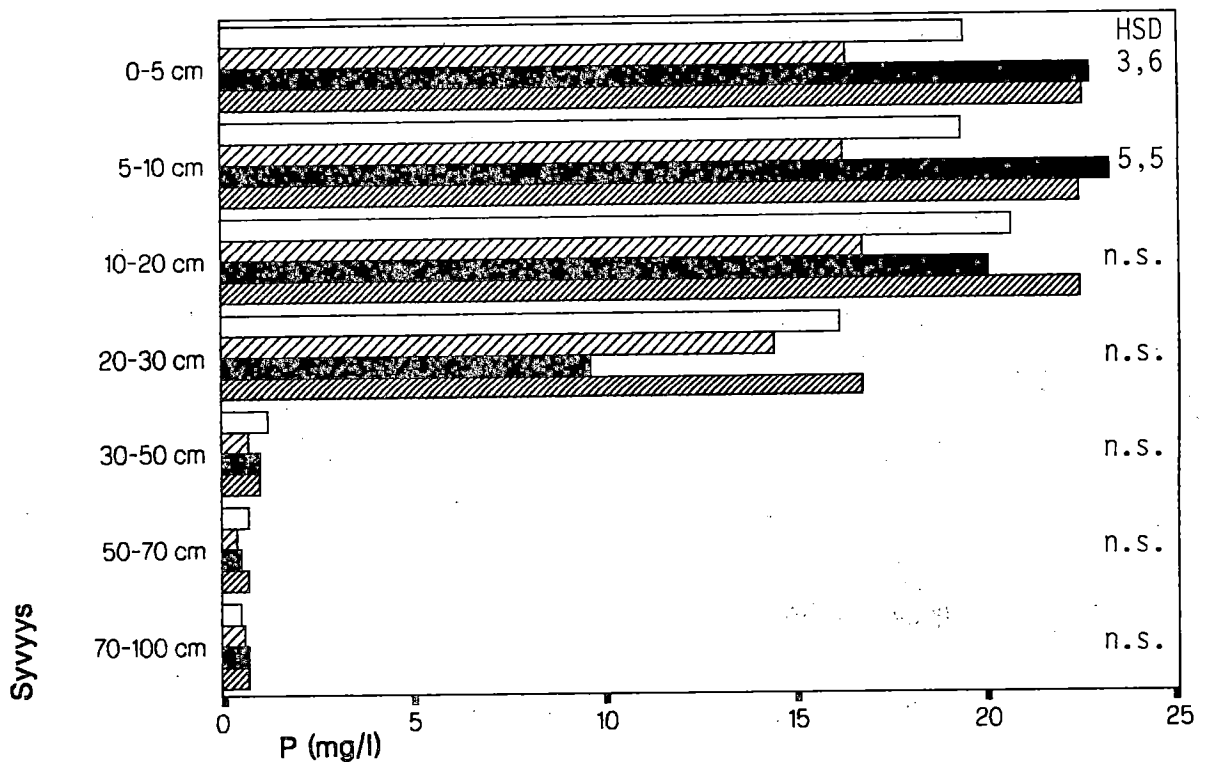
Kuva 13. Vaihtuva kalsium, mg/l (□ = kemiallinen kesanto, ▨ = muokattu kesanto, ■ = kevyt muokkaus, ▩ = normaali viljely, HSD=Tukey 5%).



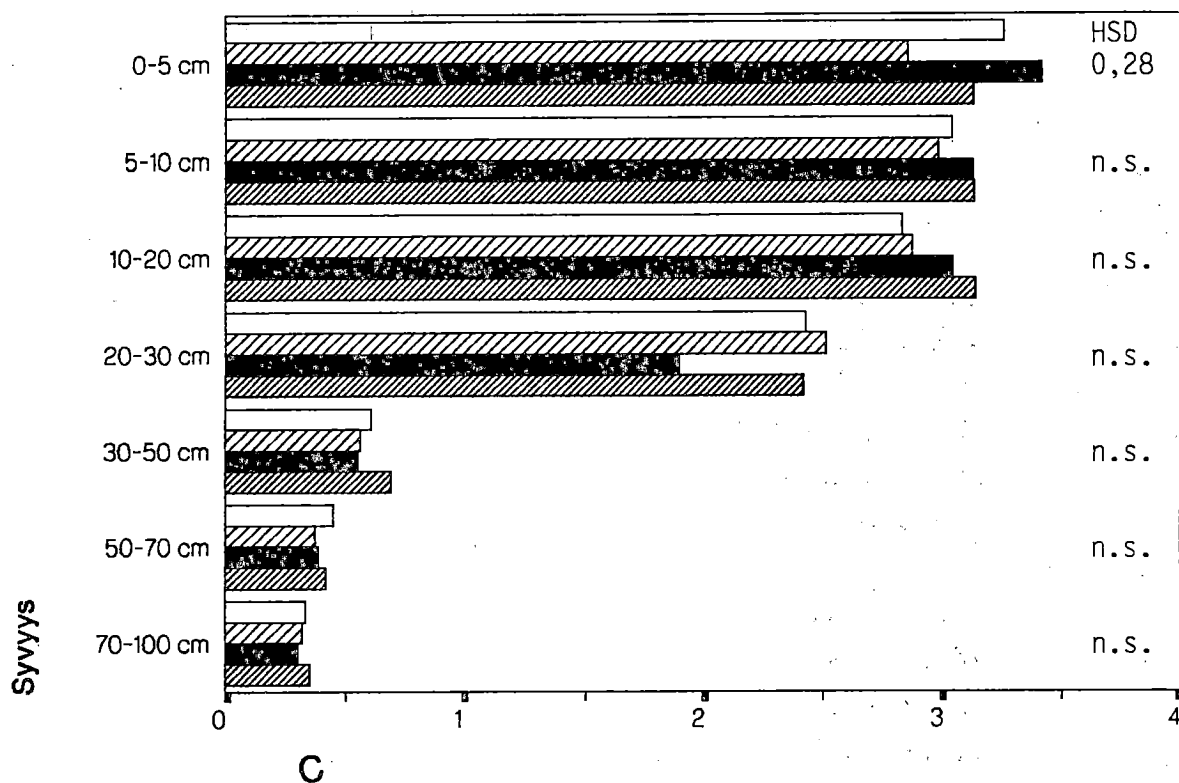
Kuva 14. Vaihtuva kalium, mg/l (□ = kemiallinen kesanto, ▨ = muokattu kesanto, ■ = kevyt muokkaus, ▩ = normaali viljely, HSD=Tukey 5%).



Kuva 15. Vaihtuva magnesium, mg/l (□ = kemiallinen kesanto, ▨ = muokattu kesanto, ▩ = kevyt muokkaus, ▧ = normaali viljely, HSD=Tukey 5%).



Kuva 16. Helppoliukoinen fosfori, mg/l (□ = kemiallinen kesanto, ▨ = muokattu kesanto, ▩ = kevyt muokkaus, ▧ = normaali viljely, HSD=Tukey 5%).



Kuva 17. Orgaaninen hiili, % (□ = kemiallinen kesanto, ▨ = muokattu kesanto, ■ = kevytmuokkaus, ▩ = normaali viljely, HSD=Tukey 5%)

Orgaanisen hiilen pitoisuudet on esitetty kuvassa 17. Orgaanisen aineksen pitoisuuksiksi luvut voidaan muuttaa kertomalla ne 1,724:llä. Orgaanisen hiilen pitoisuuksissa oli eroja ainoastaan pintakerroksessa (0-5 cm), johon myös päämielenkiinto kohdistui. Kun maata viljeltiin kevyesti muokaten, akkumuloitui orgaanista ainesta pintakerrokseen, jossa oli orgaanista hiiltä enemmän kuin kummassakaan kynnettyssä käsittelyssä. Kemiallisen kesannon ja kevytmuokkauksen välillä ei sen sijaan ollut merkitsevää eroa. Muokkaaminen oli hävittänyt orgaanista ainesta avokesannosta ja orgaanisen hiilen pitoisuus oli merkitsevästi pienempi kuin kemiallisessa kesannossa. Avokesannon ja normaalin viljelyn välillä ei sitä vastoin ollut eroa. Myöskään kemiallinen kesanto ja normaali viljely eivät eronneet hiilipitoisuuden suhteen toisistaan merkitsevästi.

Kynnettyjen käsittelyjen viljavuus ja orgaanisen hiilen määrä olivat melko tasasuuruisia kyntökerroksessa. Sen sijaan kyntämättömissä koejäsenissä erot kyntökerroksen sisällä olivat selviä.

3.3.3. MAAN MEKAANINEN VASTUS

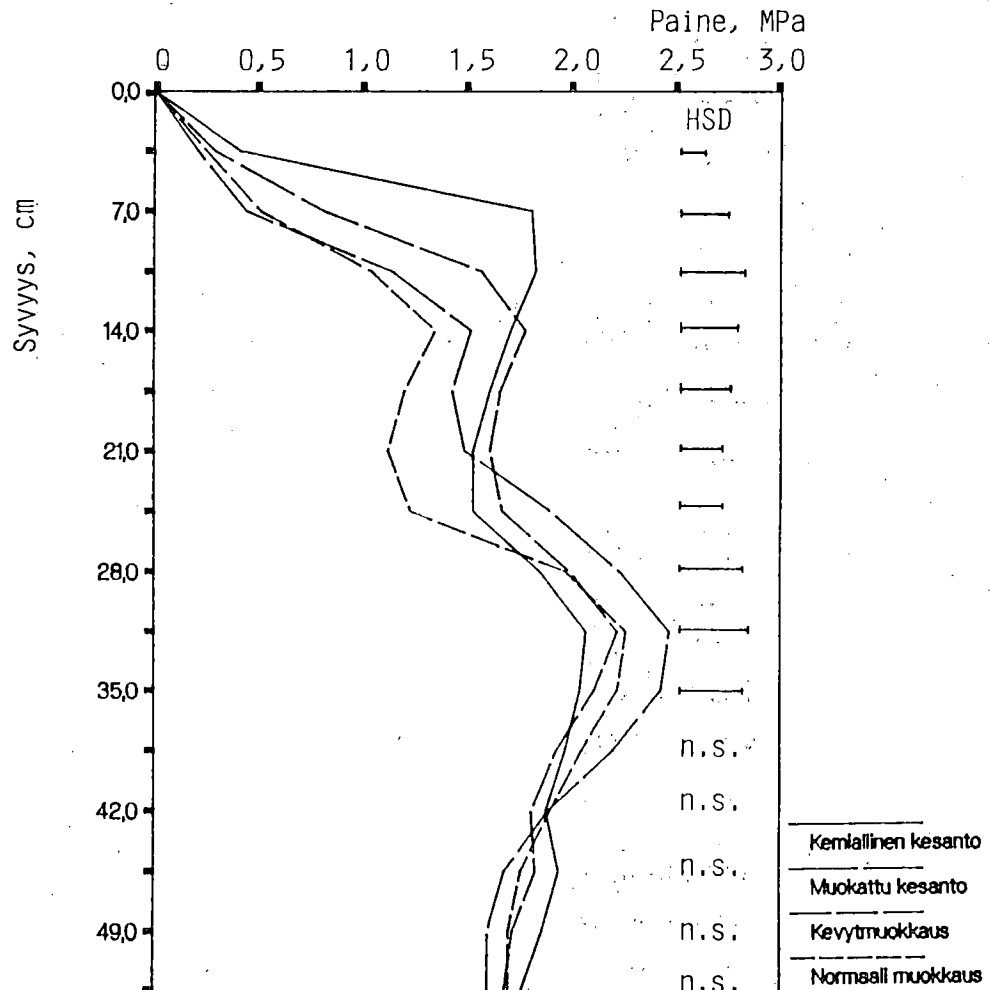
Maan mekaaninen vastus on esitetty kuvassa 18. Kuvio on piirretty koejäsenittäin pistojen keskiarvona. Penetrometrimittausten tilastollisessa käsittelyssä käytetään usein mediaania keskiarvon sijasta (PITKÄNEN 1988), jotta aineistosta voimakkaasti poikkeavien havaintojen keskiarvoon aiheuttama vääristymä karsiutuisi. Tässä aineistossa koe-ruutujen sisäinen vaihtelu oli kuitenkin vähäistä ja mediaanin ja keskiarvon välillä ei ollut suuria eroja. Siten pistojen keskiarvon katsottiin paremmin kuvaavan maan mekaanista vastusta.

Kyntämättömien käsittelyjen pintakerros oli mekaanisesti huomattavasti lujempaa kuin kynnettyjen koejäsenten kyntökerros. Sen sijaan kyntökerroksen alapuolella erot tasoittuivat ja kääntyivät osin päinvastaisiksi. Suurin maan mekaaninen vastus oli muokatussa kesannossa kyntökerroksen alapuolella.

Merkitseviä eroja mekaanisessa vastuksessa oli 35 cm:iin asti. Kemiallisen kesannon mekaaninen vastus oli muita suurempi kahdessa ylimässä kerroksessa (0-7 cm) ja vielä seuraavassakin kerroksessa (7-10,5 cm) se oli kynnettyjen ruutujen mekaanista vastusta suurempi. Kevyesti muokatun koejäsenen mekaaninen vastus oli kynnettyjen koejäsenten vastaavaa suurempi muokkauskerroksen alapuolelta kyntökerroksen puoleen väliin (3,5-14 cm). Kemiallisessa kesannossa mekaaninen vastus oli normaalin viljelyn mekaanista vastusta suurempi välillä 10,5-14 cm. Normaalin viljelyn mekaaninen vastus oli muita pienempi ruokamulta-kerroksen alaosassa (14-24,5 cm). Muokatun kesannon mekaaninen vastus puolestaan oli suurempi kuin kemiallisen kesannon vastaava kyntökerroksen alapuolella (21-35 cm). Kevyesti muokattujen ruutujen mekaanista vastusta suurempi oli muokatun kesannon mekaaninen vastus kerroksessa 31,5-35 cm.

3.3.4. HUOKOSTEN MÄÄRÄ JA JAKAANTUMINEN

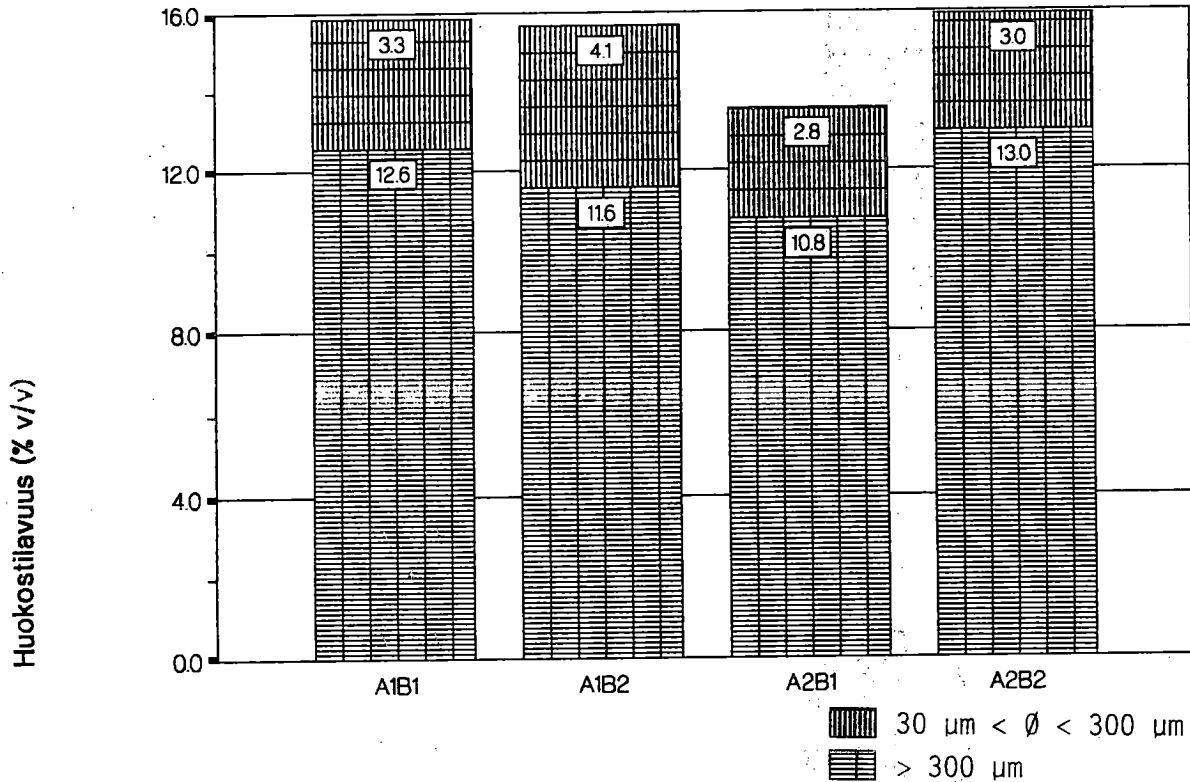
Kuvissa 19-21 esitetään suurten huokosten määrä lieriönäytteistä. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Viljely kevyesti muokaten näytti vähentäneen suurten huokosten määrää kaikissa kerroksissa muihin käsittelyihin verrattuna ja muokkaamattoman kesannon vaikutus näytti suurten huokosten kannalta edullisimmalta varsinkin syvemmissä kerroksissa. Kahdessa ylimmässä kerroksessa muutos oli selvin huokoston



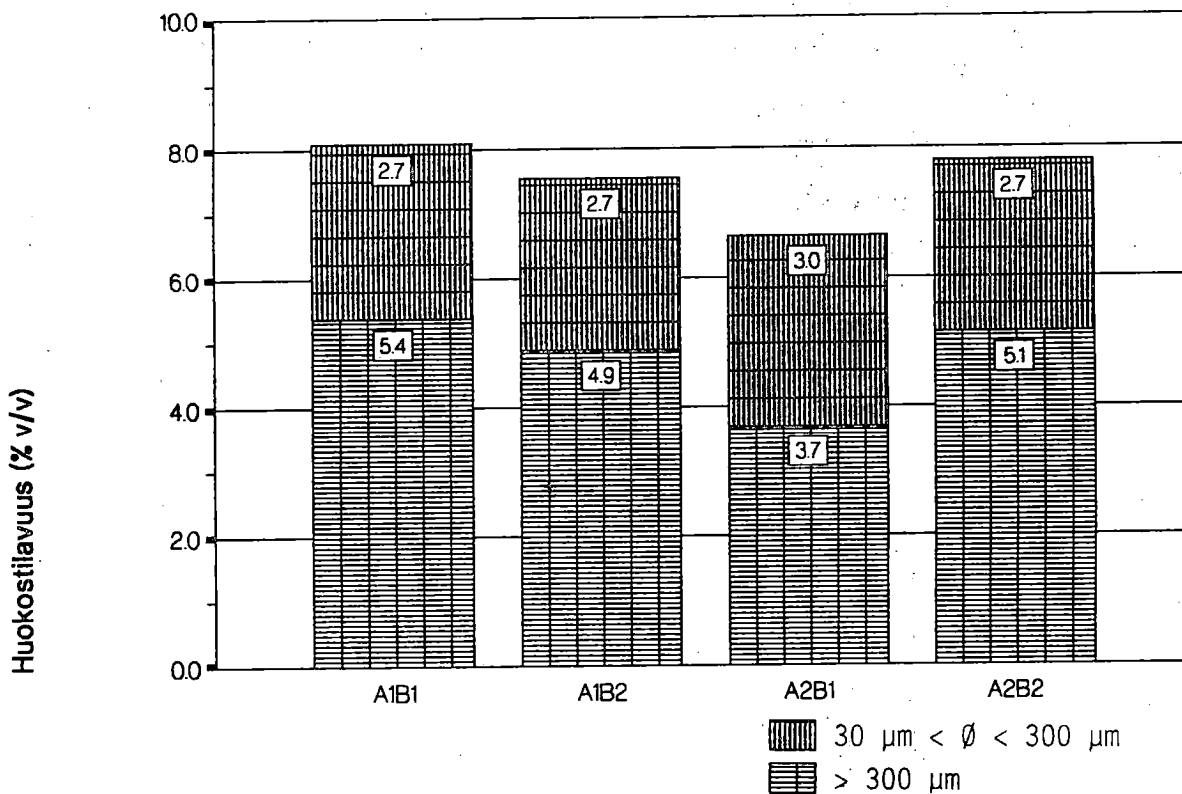
Kuva 18. Maan mekaaninen vastus, MPa (HSD Tukeyn testi 5 %).

karkeimmassa osassa, kun alimmassa kerroksessa hienommat huokokset näyttivät eroavan koejäsenten välillä. Kesannon muokkaaminen näytti rikkoneen kyntökerroksesta karkeimpia huokosia, vaikka huokosten kokonaistilavuus ei ollutkaan muihin verrattuna pienempi. Suurten huokosten perusteella ei voinut todeta maan tiivistyneen kyntökerroksen alapuolelta kynnetyissä käsittelyissä.

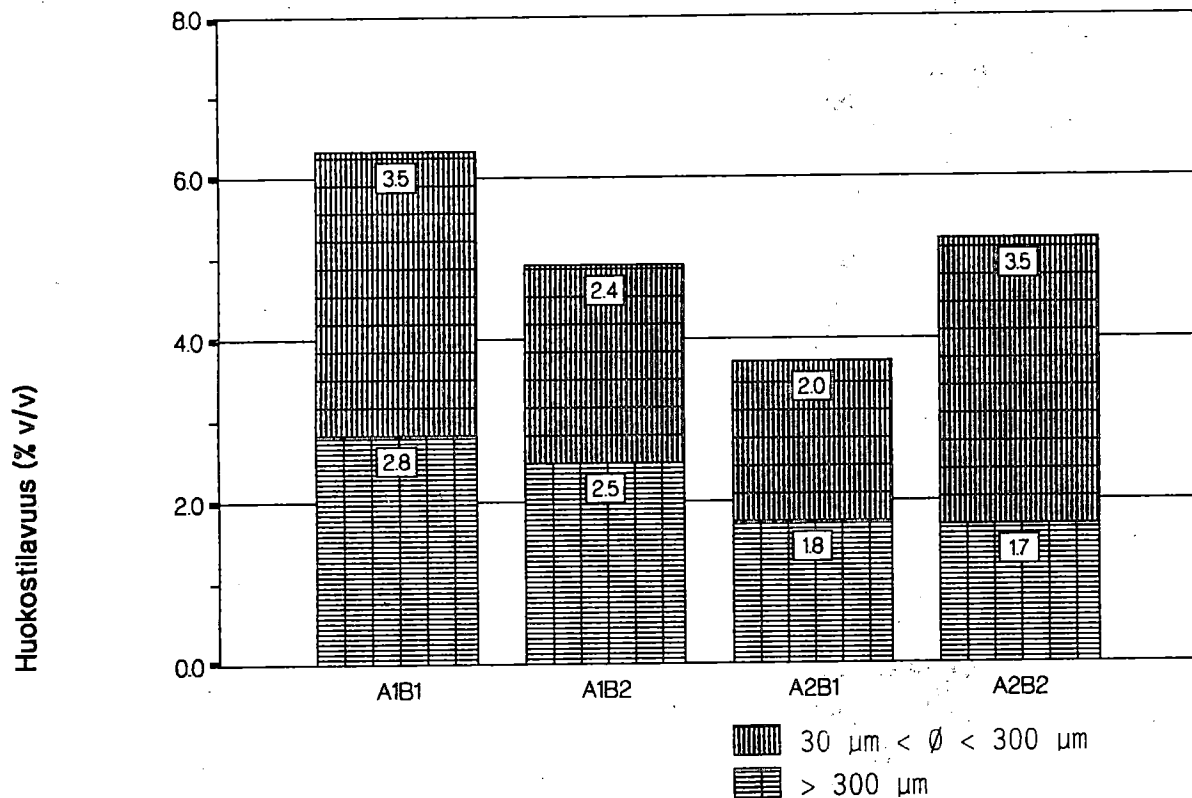
On huomattava, että maan pintaosien suurten huokosten yleisimmin esitettyä kriittistä rajaa, 10 %:a (MARSHALL ja HOLMES 1988), jossa juuriston kaasujenvaihto voi estyä, ei alitettu missään koejäsenessä. Huokosten kokonaistilavuus ei kuitenkaan anna tietoja huokosten jatkuvuudesta, joka on useiden maan ominaisuuksien – mm. vedenläpäisevyyden ja kaasutalouden – kannalta ratkaiseva. Huokostilavuus ei myöskään anna kuvaa huokostiheydestä, joka on maan kaasujenvaihdon ja aerobisuuden kannalta oleellista, sillä huokostilavuudeltaan aerobisessa maassa saattaa olla usein anaerobisia pesäkkeitä (SIMOJOKI 1989).



Kuva 19. Suurten huokosten määrä (%v/v) lieriönäytteissä syvyydellä 0-20 cm (A1B1= kemiallinen kesanto, A1B2= muokattu kesanto, A2B1= kevyt muokkaus, A2B2= normaali viljely).



Kuva 20. Suurten huokosten määrä (%v/v) lieriönäytteissä syvyydellä 20-38 cm (A1B1= kemiallinen kesanto, A1B2= muokattu kesanto, A2B1= kevyt muokkaus, A2B2= normaali viljely).



Kuva 21. Suurten huokosten määrä (%v/v) lieriönäytteissä syvyydellä 38–56 cm (A1B1= kemiallinen kesanto, A1B2= muokattu kesanto, A2B1= kevyt muokkaus, A2B2= normaali viljely).

3.3.5. MAAN VEDENLÄPÄISYKYKY

Maan vedenläpäisykyvyn mittaustuloksissa esiintyi runsaasti vaihtelua (taulukko 3). Tulosten vaihtelun aiheuttajia oli useita: Oletus, että maa olisi mitattaessa vedellä kyllästetyssä tilassa, ei kenttämittauksissa ollut oikea. Savimaan tasapainottuminen kestää useita päiviä, jopa viikkoja, ja kun maa pyrittiin kyllästämään keinotekoisesti kastelemalla päivää, paria ennen varsinaista mittausta, ei siinä runsaasta vedenkäytöstä huolimatta onnistuttu. Auger hole -mittauksia häiritsi myös irtonaisen maa-aineksen variseminen kolon pohjalle, jolloin kolon pohjalle kertyi läpäisemätön, liettynyt maakerros. Suurimmat huokokset, joista maan vedenläpäisykyky pääasiassa riippuu, saattoivat myös tukkeentua maata kairattaessa.

Suurin vaihtelun aiheuttaja oli kuitenkin maan epähomogeenisuus: jos oletetaan neliömetrillä olevan tasaisesti jakaantuneena 10 huokospistettä, joista maan vedenläpäisykyky riippuu, on todennäköisyys, että halkaisijaltaan kahdeksan senttimetrin kaira osuu johonkin näistä, noin 0,05 eli yksi kairaus 20:sta. Infiltraatiorenkaalla vastaava to-

dennäköisyys on 0,7 (5:7) ja laboratorionäytteillä 0,18. Todellisudessa huokokset eivät kuitenkaan ole lainkaan tasaisesti jakautuneet. Toisaalta huokosten koko ja jatkuvuus ovat hyvin vaihtelevia ja läpäisevyys saattaa olla hyvin erilainen eri huokospisteissä. Läpäisykyvyn mittausten menetelmät soveltuvatkin parhaiten rakenteeltaan homogeenisille maille (hieta ja muut yksihiukkeiset maat). Käänteinen Auger hole -menetelmä ei tulosten perusteella sovi lainkaan mittausten menetelmäksi, jos maan vedenläpäisykyky on hyvä. Myös muita mittausten menetelmiä käytettäessä pitäisi mittaukset toistaa useana kerranteena tulosten luotettavuuden parantamiseksi, mutta käytännössä työmäärä kohoaa tällöin kohtuuttoman suureksi.

Laboratoriomittauksissa saatiin suurempia arvoja kuin muilla menetelmillä. Tähän lienee vaikuttanut se, että huokosten efektiivinen jatkuvuus kasvoi näytteitä pilkottaessa; mitattavan kerroksen pohjan leikkaava lyhyehkökin huokonen, joka pellolla luonnollisessa ympäristössään on lähes vettä johtamaton, jatkui laboratorionäytteen pohjasta äärettömiin. Lisäksi vesi saattoi johtua lieriön ja maan välistä, vaikkakaan kokeet, joissa seurattiin väriaineen avulla veden kulkureittejä lieriönäytteessä, eivät tukeneet tätä olettamusta. Koska laboratorio-oloissa osa virhelähteistä pystytään eliminoimaan (puutteellinen vedellä kyllästyminen, huokosten tukkeutuminen, pinnan liettyminen), voidaan olettaa laboratoriomittauksien tuloksissa esiintyvän vaihtelun johtuneen pääasiassa maan epähomogeenisuudesta ja osoittavan maassa esiintyvän vaihtelun todellisen suuruuden. HEINOSIN (1985) mukaan laboratoriomittaukset ovat kuitenkin savimailla melko käyttökelpottomia niiden paisumis-kutistumistaipumusten vuoksi. Laboratoriomittauksilla kyetäänkin mittaamaan vain vertikaalinen läpäisykyky, vaikka kokonaisuuden kannalta myös sivusuuntaisen, horisontaalisen läpäisevyyden selvittäminen olisi tärkeää.

Taulukossa 3 esitetään vedenläpäisykyky eri menetelmillä mitattuna. Ainoa tilastollisesti merkitsevä tulos oli kemiallisen kesannon parempi vedenläpäisykyky pintakerroksessa (0-15 cm) viljeltyihin koejäseniin verrattuna infiltraatiorenkaalla mitattuna. Ero muokattuun kesantoon ei ollut merkitsevä. Kemiallinen kesanto näytti läpäisseen parhaiten vielä jankossakin, mutta tulos ei ollut enää tilastollisesti merkitsevä.

Myös muiden menetelmien perusteella näytti kemiallisen kesannon vedenläpäisykyky olleen paras. Kevyesti muokatun koejäsenen läpäisykyky sen sijaan näytti heikoimmalta lähes kaikilla menetelmillä mitattuna. Läpäisykyky oli pintamaassa yleensä selvästi parempi kuin syvemmissä kerroksissa. Laboratoriomittausten joukossa oli tosin tapauksia, joissa keskimmäisen kerroksen (20-38 cm) läpäisykyky oli huonompi kuin alimman, vaikka se ei tullutkaan esiin keskiarvoissa.

Taulukko 3. Hydraulinen konduktiviteetti (cm/h) eri menetelmillä ja eri syvyyksistä. (A1B1= kemiallinen kesanto, A1B2= avokesanto, A2B1= kevyt muokkaus, A2B2= normaali viljely, S.E.= keskiarvon keskivirhe, HSD Tukeyn testi 5 %.)

Menetelmä,

syvyys ja aika A1B1 S.E. A1B2 S.E. A2B1 S.E. A2B2 S.E. HSD

Infiltraatiorengas

0-15 cm	157,9±44,6	36,0±27,0	32,4±19,0	26,1 ±9,8	125,3
23-33 cm	17,4±14,6	2,3 ±0,8	2,0 ±0,7	3,7 ±1,4	n.s.

Auger hole -menetelmä, 33 cm

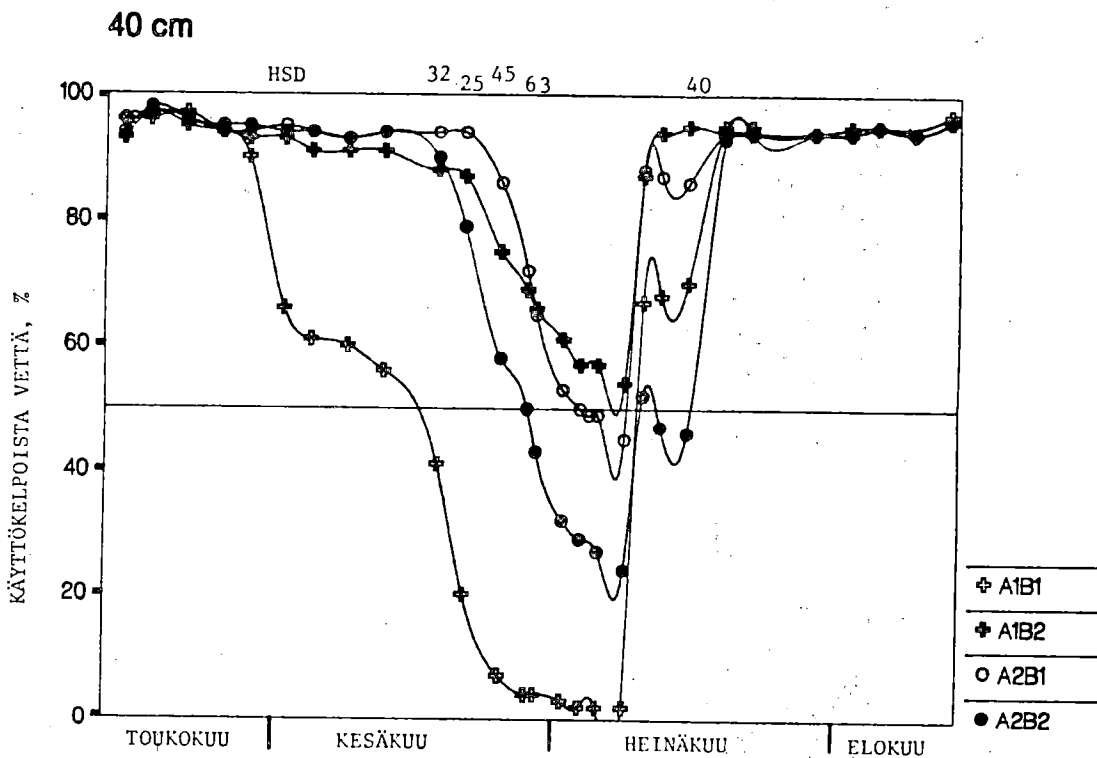
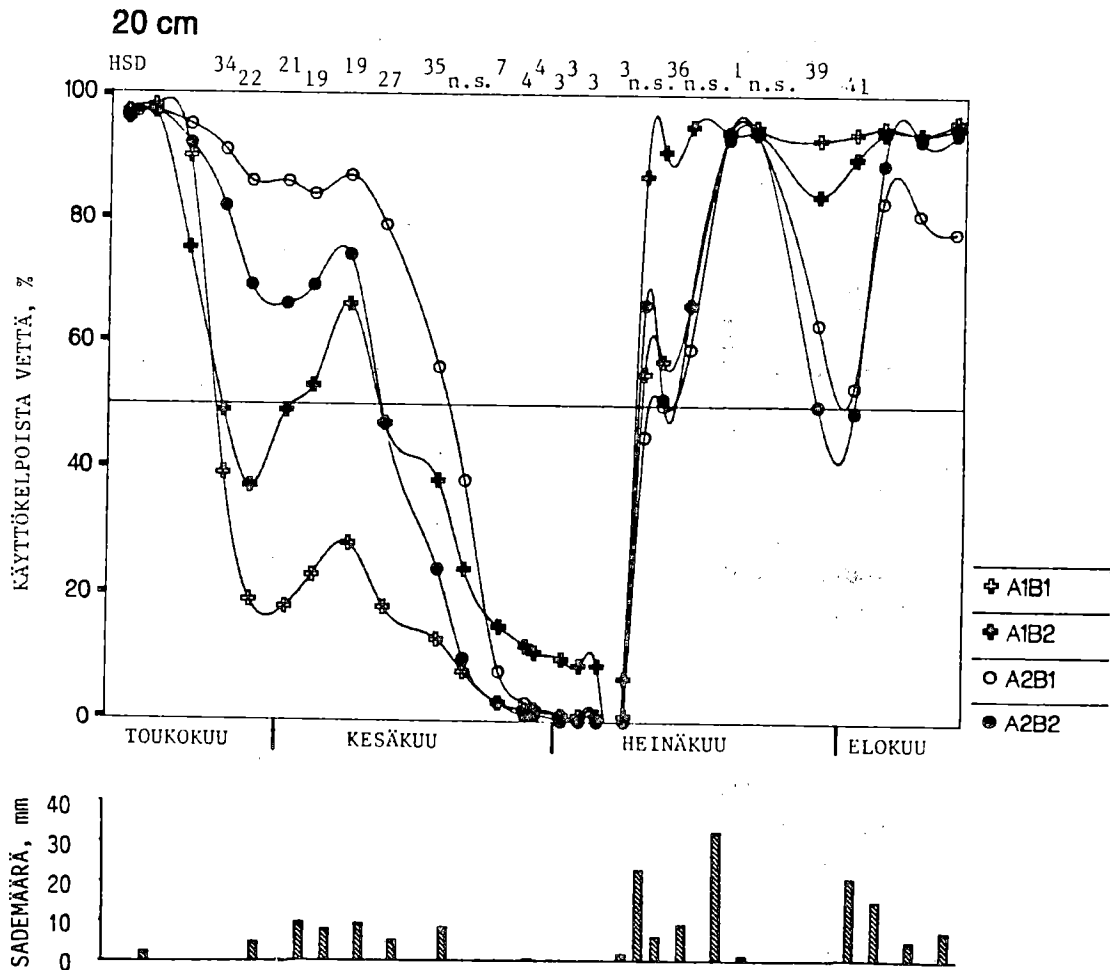
0-30 s	31,3 ±5,6	19,8 ±4,3	33,4±13,7	27,3 ±7,6	n.s.
0-1 min	23,2 ±4,1	15,3 ±3,3	25,7 ±8,4	20,0 ±4,9	n.s.
0-5 min	9,7 ±1,5	8,9 ±1,9	12,5 ±3,6	10,2 ±2,7	n.s.
0-15 min	7,0 ±1,7	5,7 ±2,0	7,1 ±2,2	5,8 ±1,5	n.s.

Auger hole -menetelmä, 50 cm

0-10 min	1,93±0,49	0,78±0,20	1,08±0,21	1,43±0,47	n.s.
0-30 min	1,29±0,31	0,81±0,19	0,73±0,17	1,06±0,28	n.s.
0-1 h	1,15±0,30	0,76±0,19	0,56±0,14	1,02±0,30	n.s.
0-2 h	1,14±0,31	0,75±0,20	0,49±0,14	0,90±0,30	n.s.

Laboratoriomittaus

0-20 cm	242,0±62,5	144,1±43,7	146,9±28,8	259,5±44,1	n.s.
20-38 cm	106,7±51,4	76,1±32,1	18,4 ±6,3	74,7±22,7	n.s.
38-56 cm	44,0±23,5	17,4±14,9	7,3 ±4,4	13,8 ±8,2	n.s.



Kuva 22. Kasveille käyttökelpoinen vesi 20 ja 40 cm:ssä sekä sademäärä 15.5.-15.8.1989 (ANON. 1986-1989). (A1B1= kemiallinen kesanto, A1B2= muokattu kesanto, A2B1= kevyt muokkaus, A2B2= normaali viljely, HSD= Tukeyn testi 5%.)

3.3.6. KIPSIBLOKKIMITTAUKSET

Kuvassa 22 esitetään tulokset kipsiblokkimittauksista ja mittausten aikaiset sademäärät Jokioisissa. Kemiallinen kesanto kuivui 20 cm:n syvyydestä nopeimmin keväällä. Sen kipsiblokkilukema oli merkitsevästi alhaisempi kuin kevytkuokkauksessa 26.5.-19.6., normaalissa viljelyssä 29.5.-13.6. ja muokatussa kesannossa 2-13.6. Myös muokattu kesanto kuivui alussa nopeammin kuin viljellyt koejäsenet; se oli merkitsevästi kuivempi kevyesti muokattua maata 26.5.-13.6. ja normaalia viljelyä 29.5. Sen sijaan kevyesti muokattu maa kuivui hitaimmin; sen kipsiblokkilukema oli merkitsevästi korkein 13.6.

Kemiallinen kesanto kuivui myös 40 cm:n syvyydestä muita nopeammin; ero oli merkitsevä kaikkiin koejäseniin 19-26.6. ja muihin paitsi normaaliin viljelyyn 29.6. Keskikesällä muokattu kesanto ei kuivunut kyn-tökerroksestakaan täysin, vaan sen kipsiblokkilukema (20 cm) oli muita suurempi 26.6.-10.7. Heinäkuun 12. päivän sateen jälkeen muokattu kesanto kuivui 20 cm:n syvyydestä hitaammin kuin viljellyt koejäsenet. Normaali viljely oli 40 cm:n syvyydessä merkitsevästi kuivempi kuin muokattu kesanto ja kevyesti muokattu maa. Kemiallinen kesanto oli merkitsevästi kosteampi normaalia viljelyä 31.7. ja 4.8. sekä kevyesti muokattua käsittelyä 4.8. Muut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

3.3.7. LIEROJEN ESIINTYMINEN

Taulukossa 4 ilmaistaan lierojen lukumäärä ja kuivapaino neliometriä kohden syksyn 1988 määrityksessä. Määritykset suoritti MTTK:n Kasvin-suojelun laitos. Taulukosta saadaan tuorepainon estimaatti jakamalla kuivapaino luvulla 0,3. Lierotulosten tilastollisessa käsittelyssä käytettiin MTTK:n SAS-ohjelmistoa (ANON. 1985). Lierojen kuivapaino käsiteltiin tilastollisesti logaritmuunnoksena ja lukumäärä neliöjuurimuunnoksena.

Kemiallisessa kesannossa ja kevyesti muokatussa maassa oli lierojen biomassa merkitsevästi suurempi kuin muokatussa kesannossa. Muut erot biomassoissa eivät olleet merkitseviä. Kemiallisessa kesannossa oli

lierojen lukumäärä merkitsevästi suurempi kuin muokatussa kesannossa ja normaalissa viljelyssä. Muita merkitseviä eroja ei lierojen lukumäärissä ollut.

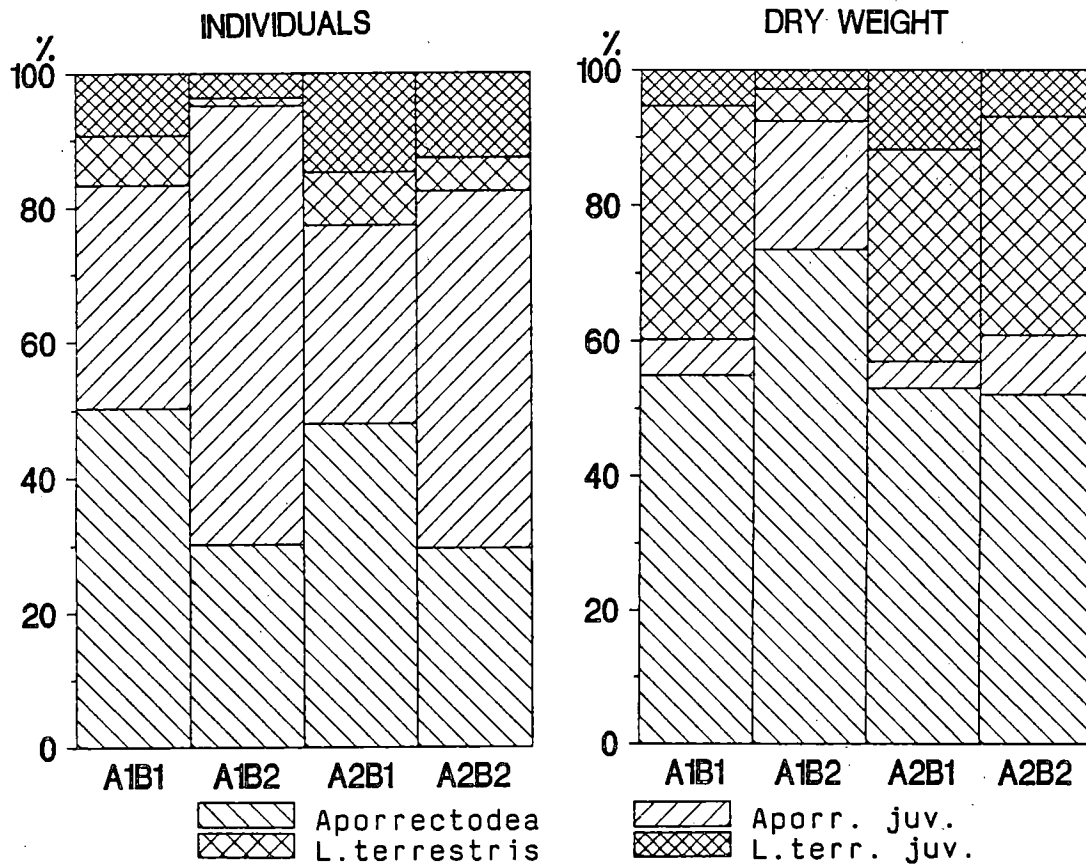
Kuvassa 23 esitetään lierojen jakaantuminen Aporrectodea-suvun lajeihin (endogeeiset lajit) ja Lumbricus terrestris-lajiin (kasteliero, aneekkinen laji). Erot lajijakaantumisissa eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Siten tulosten perusteella kyntämättömyys ei suosinut syvälle kaivautuvia lajeja erityisesti vaan lisäsi kaikkien lierolajiryhmien esiintymistä. Myöskään nuorten ja aikuisten lieroyksilöiden osuuksissa ei ollut eroja.

3.3.8. LIERO- JA JUURIKANAVIEN ESIINTYMINEN

Juurikanavien esiintymistiheys esitetään taulukossa 5 ja lieronreikien lukumäärä taulukossa 6. Juurikanavissa ei ollut koejäsenien välisiä eroja, kun tilastollinen analyysi tehtiin normaalisti lohkoittain satunnaistettuna, mutta kun tulokset käsiteltiin faktoriaalisena siten, että kyntäminen/kyntämättömyys oli toinen faktori ja viljelykasvi/kesanto oli toinen, oli juurikanavien tiheys 20 cm:ssä suurempi kyntämättömillä koejäsenillä ($p_{hav}=0,03$). Ero 40 cm:ssä ei ollut merkitsevä ($p_{hav}=0,1$), vaikka viljelyssä koejäsenissä juuria näytti olleen enemmän. Siten kyntö tuhosi juurikanavia välittömästi kyntökerroksen alapuolelta. Syvemmällä määräävämpää näyttäisi sen sijaan

Taulukko 4. Lierojen lukumäärä ja kuivapaino (biomassa) neliometrillä rakenekokeessa syksyllä 1988. (S.E.=keskiarvon keskivirhe. Koejäsenet, joilla on sama kirjain, eivät eroa Tukeyn testissä 5 %:n merkitsevyystasolla toisistaan. Tukeyn testissä käytetty lukumäärän neliöjuuri- ja biomassan logaritimuunnoksia.)

Koejäsen	Lukumäärä kpl/m ²	S.E.	Biomassa g/m ²	S.E.
Kemiallinen kesanto	63,46	±8,26 a	11,75	±2,44 a
Muokattu kesanto	20,25	±1,93 b	1,52	±0,34 b
Kevyt muokkaus	40,00	±5,76ab	8,22	±1,97 a
Normaali viljely	32,38	±5,21 b	4,62	±1,58ab



Kuva 23. Aneekkisten (*L. terrestris*) ja endogeeisten (*Aporrectodea*) lierojen osuus rakennekokeen lieropopulaatiosta. (A1B1= kemiallinen kesanto, A1B2= muokattu kesanto, A2B1= kevytmuokkaus, A2B2= normaali viljely, juv. = nuoret yksilöt)

olleen kasvipeitteen vaikutus; viljellyissä koejäsenissä oli juurikavavia enemmän kuin kesannoissa.

Taulukko 5. Juurikavien määrä kpl/dm². (A1B1=kem. kesanto, A1B2= avokesanto, A2B1=kevyt muokkaus, A2B2= norm. viljely, S.E.=keskiarvon keskivirhe, HSD=Tukey 5%)

Syvyys	A1B1 S.E.	A1B2 S.E.	A2B1 S.E.	A2B2 S.E.	HSD
20 cm	625 ±156	382 ±83	735 ±203	488 ±168	n.s.
40 cm	500 ±92	575 ±66	905 ±277	803 ±144	n.s.

Infiltraatiorenkaasta laskettuna oli kemiallisessa kesannossa merkitsevästi enemmän lierokanavia kuin muissa koejäsenissä. Myös laboratorionäytteistä laskettuna oli kemiallisessa kesannossa merkitsevästi enemmän lierokanavia 20 cm:n syvyydellä kuin muokatussa kesannossa ja normaalissa viljelyssä. Muut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Taulukko 6. Lierokanavien määrä kpl/dm². (A1B1=kem. kesanto, A1B2=avokesanto, A2B1=kevyt muokkaus, A2B2= norm. viljely, S.E.=keskiarvon keskivirhe, HSD=Tukey 5%)

Syvyys	A1B1 S.E.	A1B2 S.E.	A2B1 S.E.	A2B2 S.E.	HSD
Lieriönäytteet					
20 cm	13,72±2,07	1,98±0,49	11,32±2,58	5,23±1,61	8,08
38 cm	6,98±1,54	4,10±1,07	4,95±1,19	8,06±1,73	n.s.
56 cm	2,07±0,68	1,84±0,36	1,41±0,54	2,97±0,27	n.s.
Infiltraatiorengas					
23 cm	8,57±1,05	3,21±0,56	4,87±0,35	5,27±0,79	2,92

3.3.9. LIERONREIKIEN, SUURTEN HUOKOSTEN JA LÄPÄISYKYVYN RIIPPUVUUS

Lieriönäytteistä laskettujen lierokanavien ja suurten huokosten huokostilavuuden välinen lineaarinen riippuvuus testattiin regressioanalyysillä (taulukko 7). Kerroksittain tarkasteltuna lierokanavien määrä korreloi merkitsevästi suurten huokosten huokostilavuuden kanssa kerroksessa 20-38 cm, jonka huokostilavuuden vaihtelusta lierokanavat selittivät 27 % ja kerroksessa 38-56 cm, jonka huokostilavuuden vaihtelusta lierokanavien määrä selitti 34 %. Koejäsenittäin tarkasteltaessa lierokanavat selittivät kemiallisen kesannon huokostilavuuden vaihtelusta 45 % ja kevyesti muokatun koejäsenen huokostilavuudesta 68 %. Lierokanavat eivät regressioanalyysin mukaan selittäneet kynnetyjen koejäsenten huokostilavuuden vaihteluja.

Laboratoriomittauksessa saatujen läpäisevyyksien lineaarinen riippuvuus suurista huokosista ja lierokanavista testattiin askeltavalla regressioanalyysillä. Käytetty regressio-ohjelma valikoi annetuista muuttujista parhaimman selittäjän ja liittää sen regressioyhtälöön. Jäljelle jääneistä muuttujista valitaan toiseksi paras selittäjä ja se liitetään regressioyhtälöön. Näin jatketaan niin kauan kuin selittäjän ottaminen mukaan parantaa selitystasetta riittävästi (T-testissä selittäjän merkitsevyys $<0,05$).

Taulukko 7. Lieronreikien määrän ja suurten huokosten tilavuuden sekä suurten huokosten tilavuuden, lieronreikien määrän ja läpäisykyvyn lineaarinen riippuvuus regressioanalyysissä. (R^2 =selitystaste, p =korrelaatiokertoimen merkitsevyytaso, * $p<0,05$, ** $p<0,01$, *** $p<0,001$)

Selittäjä/ selitettävä	Lieronreiät/ suuret huokokset		Huokokset/ läpäisykyky		Huok.+lieronr./ läpäisykyky	
	R ²	p	R ²	p	R ²	p
Syvyys						
0-20 cm	0,06	n.s.	0,06	n.s.		
20-38 cm	0,27	*	0,50	**	0,64	***
38-56 cm	0,34	*	0,48	**		
Koejäsen						
Kem. kesanto	0,45	*	0,53	*		
Avokesanto	0,00	n.s.	0,65	**		
Kevyt muokkaus	0,68	***	0,65	***		
Norm. viljely	0,02	n.s.	0,76	***		

Kerroksittain tarkasteltuna suuret huokokset ja lieronreikien lukumäärä eivät selittäneet ruokamultakerroksen (0-20 cm) läpäisevyyden vaihtelua. Toisen kerroksen (20-38 cm) läpäisevyyden vaihtelusta 50 % selittyi suurten huokosten tilavuudella. Lieronreikien ottaminen mukaan suurensi selitystasetta 64 %:iin. Kolmannen kerroksen (38-56 cm) läpäisevyyden vaihtelusta suuret huokokset selittivät 48 %. Koejäsenittäin tarkasteltuna oli suurten huokosten tilavuus ainoa läpäisevyyttä selittävä tekijä. Se selitti 53 % kemiallisen kesannon, 65 % muokatun kesannon, 75 % kevyesti muokatun maan ja 76 % normaalisti viljellyn maan läpäisevyyden vaihtelusta.

Lieronreikien määrä ei siis missään koejäsenessä selittänyt vedenjohdotokykyä. Toisaalta lieronreiät selittivät suurten huokosten tilavuutta, joten kahden näin voimakkaasti korreloivan tekijän käyttö askeltavassa regressioanalyysissä ei ehkä ollut kovin perusteltua. Toisaalta kaikki vedenjohdotokykyyn vaikuttavat ominaisuudet, edellä käsiteltyjen lisäksi esimerkiksi lieronreikien pinta-ala ja keskimääräinen halkaisija sekä huokosten jatkuvuus, korreloivat keskenään. Lisäksi on todennäköistä, että riippuvuus ei ole lineaarista, vaan esim. eksponentiaalista. Muun kuin lineaarisen riippuvuuden testaamiseen ja toteamiseen ei kuitenkaan katsottu tässä yhteydessä olevan mahdollisuuksia.

3.3.10. MAAN RAKENTEEN SILMÄVARAINEN ARVIOINTI

Maan rakennetta arvioitiin keväällä ennen kylvömuokkausta sekä sadonkorjuun jälkeen otetuista profiileista (liitekuvat 1a-1d ja 2).

Keväällä havaittiin roudan murustaneen kynnetyistä koejäsenistä vain aivan pintaosan. Kyntöviilun sisempään osaan routa ei ollut vaikuttanut, vaan se oli yhtenäistä ja märkää, eikä irtovesi päässyt poistumaan viilun sisältä. Muokatessa havaittiinkin nousevan maan pintaan paljon hajoamattomia, märkiä kokkareita. Lisäksi kevätsateet olivat liettäneet kynnettyjen ruutujen pinnan.

Kyntämättömässä, viljellyssä käsittelyssä oli yhtenäinen, lieronreikien lävistämä koherentti rakenne, johon routa ei ollut vaikuttanut. Kastelierot olivat keränneet oljet pellon pinnalle pieniin kasoihin. Maa oli selvästi kynnettyä maata kosteampi, varsinkin paikoissa, joissa olkikerros oli paksu. Maan pinta oli kynnetyn maan pintaa selvästi alempana. Kemiallisen kesannon pintamaa oli useiden lieronreikien lävistämä. Maa oli selvästi murenevampaa ja huokoisempaa kuin kevyesti muokattu maa. Kemiallisessa kesannossa ei ollut jälkiä roudan vaikutuksesta, ja irtovettä ei ollut päinvastoin kuin muissa koejäsenissä.

Sadonkorjuun jälkeen otetuista profiileista näkyi selvästi kyntöantura molemmissa kynnetyissä koejäsenissä. Normaalisti viljelty käsittely oli hyvin huokoinen ja muruinen kyntökerrokseltaan. Kyntökerros oli juurien runsaasti lävistämä. Kyntökerroksen alapuolella oli yli 20 cm paksu, lohkarainen kerros, joka oli halkeamien ja madonreikien harvaan

lävistämä. Tämän kerroksen alapuolella maa oli luonnontilaista, mikrokooppisten halkeamien murustamaa, niukasti suuria huokosia ja runsaammin pienempiä huokosia sisältävää yhtenäistä massaa.

Kevyesti muokatun koejäsenen profiilin viisi ylintä cm:ä oli löyhää, runsaasti olkien jätteitä sisältävää murua. Sen alapuolella oli runsaasti juurettunut, kiinteämpi osa, jonka lierot ovat lävistäneet. Kerroksessa ei näkynyt halkeilun aiheuttamia rakoja. 20-25 cm:stä alaspäin juuret olivat konsentroituneet pääasiassa lierokanaviin ja halkeiluakin esiintyi. 40 cm:n alapuolella juuriston tiheys pieneni selvästi, mutta juuria oli kuitenkin vielä profiilin pohjaan asti. Muuten 40 cm:n alapuolinen kerros näytti luonnontilaiselta eikä eronnut A2B2:sta.

Kemiallisen kesannon pinta oli karkeahkoa murua ja se oli hyvin huokoista. Rakenne oli melko kiinteä eikä suuria halkeamia ollut missään kerroksessa. Kyntökerroksen ja kyntämättömän maan raja ei ollut selvästi nähtävissä, tosin heikohkon kyntöanturan jäänteen voi vielä erottaa 20-25 cm:n kohdalla. Runsaimmin madonreikiä näytti olevan ylimmässä 25 cm:n kerroksessa. Sen alapuolellakin maa oli vielä selvästi huokoista ja muruista. Maa oli profiloitunut noin 45 cm:iin asti, jonka alapuolella maa näytti luonnontilaiselta.

Muokatun kesannon ylin 7 cm oli muruista. Murut olivat pienehköjä, halkaisijaltaan alle 0,5 cm:n läpimittaisia ja pyöristyneitä. Murujen välillä ei ollut jatkuvia suuria huokosia. Muu kyntökerros oli koherenttia, helposti lohkeavaa maata, jonka rikkoivat harvahkot ja kapeahkot halkeamat. Halkeamat voimistuivat kyntökerroksen alapuolella, jossa oli havaittavissa alle 10 cm paksu, erittäin kiinteä tiivistymä, kyntöantura. Antura oli mekaanisesti luja ja sen halkoivat selvät halkeamat. Anturan alapuolella maa oli huokosetonta ja kosteaa. Siinä ei esiintynyt halkeamia eikä selviä muruja. Tiivistymä itsessään ei ulottunut enää 35 cm:n alapuolelle, mutta tiivistymän välilliset vaikutukset (hapettomuus, kosteussulku) olivat selvät. Luonnontilaiseksi maa muuttui vasta n. 50 cm:n alapuolella.

3.4. TULOSTEN TARKASTELU

Kemialliset ominaisuudet:

Kynnettäessä maa sekoittuu kyntökerroksen osalta eivätkä kynnetyn maan ravinnepitoisuudet ja happamuus vaihtele ruokamultakerroksessa. Lannoittamisesta, kasvien ravinteiden otosta ja mikrobiologisista toiminnoista johtuvat hetkelliset erot maassa tasoittuvat nopeasti (BAEUMER ja BAKERMANS 1973, ALLMARAS ym. 1982, GEBHARDT ym. 1985, RILEY ym. 1985, GOSS ym. 1988, MATTSON 1988, PITKÄNEN 1988, WOODS 1989). Kyntämättömän viljelyn menetelmissä maan sekoittuvuus on sitä vastoin vähäistä, ja kasvien ravinteiden otto, lannoittaminen, huuhtoutuminen, nitrifikaatio ja denitrifikaatio aiheuttavat eroja ylimmän 20 cm:n kerroksen viljavuuteen (BAEUMER ja BAKERMANS 1973, ALLMARAS ym. 1982, GEBHARDT ym. 1985, RILEY ym. 1985, GOSS ym. 1988, MATTSON 1988, PITKÄNEN 1988, WOODS 1989). Tässä tutkimuksessa viljavuuksien erot rajoituivat maan pintaosaan.

Maan pH. Rakennekokeen pH oli luontaisesti korkea. Kemiallisessa kessannossa pH oli kuitenkin suhteellisen alhainen koko ruokamultakerroksessa. Sitä lienee alentanut vilkas mikrobitoiminta, jota runsas huokoisuus, hyvä happitilanne ja makrofaunan runsaus stimuloivat. Kynetyissä käsittelyissä - sekä normaalissa viljelyssä että avokessannossa - pH oli sama koko kyntökerroksessa, mutta kevyesti muokatussa koejäsenessä pH:n aleneminen oli selvin lannoittamiskerroksessa. Tämän kokeen perusteella aurattomalla viljelyllä on taipumus happamoittaa maan pintakerrosta. PITKÄSEN (1988) aurattoman viljelyn kenttäkokeissa tällaista taipumusta ei ollut.

Aurattoman viljelyn oletetaan lisäävän mikrobitoimintaa maan pinnassa (BAEUMER ja BAKERMANS 1973, WOODS 1989). Happamoituminen saattaa kuitenkin rajoittaa mikrobitoimintaa, ja pH:n aleneminen onkin estettävä kalkitsemalla. Kalkin sekoittaminen maahan ilman kyntämistä voi osoittautua ongelmalliseksi. Toisaalta pH:n aleneminen rajoittuu aurattomassa viljelyssä pintakerrokseen, ja ylimpään 10 cm:iin kalkki sekoituneekin tyydyttävästi kylvömuokkauksen yhteydessä. Lisäksi kastelievot sekoittavat kalkkia pystysuunnassa (SPRINGETT 1983). Kyntämätöntä maata tarvitsee silti kalkita useammin kuin kynnettyä maata, mutta sopivat kerta-annokset lienevät pienemmät kyntämättömässä maassa.

Ca- ja Mg-pitoisuus. Kevyesti muokatun maan kalsium- ja magnesiumluku- jen erot kynnetyyn maan vastaaviin arvoihin verrattuina olivat pieniä. Kyntämättömyys ei siis ollut seitsemässä vuodessa köyhdyttänyt vilja- van maan pintaosien kalsium- eikä magnesiumvaroja, vaikka ne herkkä- liikkeisinä saattavatkin liikkua alaspäin (BAEUMER ja BAKERMANS 1973, PITKÄNEN 1988). Sekä kynnettäessä että jätettäessä maa kyntämättä ra- joittaneekin maan pH:n lasku kasvien kasvua varhaisemmin kuin kalsiu- min tai magnesiumin puute. PITKÄSEN (1988) aurattoman viljelyn ko- keissa kalsium- ja magnesiumpitoisuudet olivat alentuneet selvemmin.

K- ja P-pitoisuus. Kalium rikastui kemiallisen kesannon ja varsinkin kevyesti muokatun maan pinnalle, johon kasvinjätteet - kuolleet rikka- kasvit ja oljet - jätettiin vuosittain. Liukoisen fosforin määrään sen sijaan vaikutti enemmän lannoitus kuin muokkaus. Viljellyissä koejäse- nissä lannoittaminen oli säilyttänyt fosforiluvun tasaisen korkeana. Kevytmuokkauksen pintakerroksen fosforiluku ei eronnut normaalista viljelystä eikä kynnöstä luopuminen siis lisännyt fosforin konsentroi- tumista maan pintaan. Myös lierojen toiminta, joka kemiallisessa ke- sannossa oli erittäin voimakasta, parantaa fosforin liukoisuutta (LAIRD ja KROGER 1981). Kemiallisen kesannon voimakas biologinen ak- tiivisuus olikin säilyttänyt fosforiluvun korkeampana kuin kesannon muokkaaminen.

Orgaaninen aines. Rungas muokkaaminen hajottaa orgaanista ainesta (AL- LISON 1973, s. 321 ja 495, SCHACHTSCHABEL ym. 1982, SOANE 1990), ja luovuttaessa kynnöstä sen määrä lisääntyy maan pintaosissa, millä on positiivisia vaikutuksia pinnan mururakenteeseen (PITKÄNEN 1988). Myös tässä kokeessa kyntämättömiin käsittelyihin, varsinkin kevyesti muo- kattuun maahan, oli orgaaninen aines konsentroitunut maan pintakerrok- seen. Kynnetyissä koejäsenissä orgaanisen hiilen pitoisuus oli tasa- suuruinen kyntökerroksessa ja jatkuva avokesannoiti oli vähentänyt orgaanisen hiilen määrää selvästi. Keväällä ennen kylvöä kynnetyt maat olivat kuorettuneet kevätsateista, mikä viittaa mururakenteen heikkou- teen näissä maissa. Varsinaisia muruanalyyskejä ei kuitenkaan tehty.

Biologiset ominaisuudet:

Lierotoiminta. Rakennekokeen maaperässä lieroja oli runsaasti. Varsinkin kastelieroja esiintyi enemmän kuin Suomessa normaalisti on havaittu (HAUKKA 1988b). Lieromääritysten tulokset olivat samansuuntaiset aikaisempien tutkimusten kanssa (esim. BAEUMER ja BAKERMANS 1973, EDWARDS 1981, LOFS-HOLMIN 1983, SPRINGETT 1983, DIEZ ym. 1988, HAUKKA 1988b, MATTSON 1988). Kyntämättömyys oli selvästi suosinut lierotoimintaa. Lierot olivat saaneet lahoamattomista oljista ja rikkakasveista ravintoa, eikä kemiallisessa kesannossa käytetty rikkakasvimyrkky, glyfosaatti, ollut vahingoittanut niitä. Glyfosaatti ei normaaliannoksina suoranaisesti vaikutakaan lierojen määrään (VAN DER MEER ja TUOMISTO 1984, LEE 1985, s. 302). Myös maan jättäminen mekaanisesti koskemattomaksi lisäsi lierojen määrää kemiallisessa kesannossa (TÖRMÄLÄ 1979).

Vastoin odotuksia lierojen lajistossa ei ollut eroa koejäsenien välillä. Lierot olivat tosin kyntämättömissä koejäsenissä keskimäärin painavampia kuin kynnetyissä käsittelyissä. Yleensä kyntämättömyys suosii syvälle kaivautuvia, pysyvissä kanavissa eläviä lierolajeja (Lumbricus terrestris) ja kynnettäessä endogeeisten lajien (Aporrectodea) osuus suurenee (EDWARDS ja LOFTY 1982, NUUTINEN 1990). Tässä koeksessa niin ei kuitenkaan ollut käynyt. Lajiston merkitys maan toimintoihin on kuitenkin vähäpätöinen, kun erot lierojen biomassoissa ovat käsittelyjen välillä niinkin selvät kuin tässä tutkimuksessa.

Lieriönäytteistä laskettujen lieronreikien määrä oli yhdenmukainen lierojen määrän kanssa. Kyntö oli tuhonnut lieronreiät maan pintao- sista. Sen sijaan kemiallisessa kesannossa ja kevytluokkauksessa oli ylimmässä kerroksessa runsaasti lieronreikiä. Jankossa erot tasoittui- vat ja normaalissa viljelyssä oli jopa enemmän lieronreikiä kuin muis- sa koejäsenissä. Olkien multaaminen näyttäisikin lisäävän lierotoi- mintaa multauskerroksessa. Toisaalta olkien multaaminen vaikeuttaa kastelierojen ravinnonsaantia. Jatkotutkimuksissa tulisi selvittää, voidaanko multaamalla oljet vain osittain stimuloida endo- ja epi- geeisten lajien toimintaa häiritsemättä kastelierojen esiintymistä.

Lieronreikien lukumäärä ei yksinään selittänyt maan fysikaalisten ominaisuuksien eroja. Lieronreikien tehokkuuteen ilma- ja vesikanavina vaikuttaakin lukumäärän lisäksi myös jatkuvuus, horisontaalijakauma sekä lierokanavien pinta-ala, jotka olisikin vastaisuudessa määritettävä selvitettäessä lierotoiminnan vaikutusta maan fysikaalisiin ominaisuuksiin.

Juurikanavat. Kemiallisen kesannon varsin runsaskaan rikkakasvusto ei työntänyt juuriaan yhtä syväälle kuin viljakasvit: toisaalta kemiallisessa kesannossa oli paljon lieronreikiä, joita pitkin juuristo pystyi esteettä kehittymään. Myös koejäsenessä A2B2 viljakasvien juuristo oli läpäissyt kovan kynnon alapuolisen kerroksen sekä lierokanavia että halkeamia pitkin, ja pystynyt sen jälkeen luomaan juurikanavaverkoston tämän kerroksen alapuolelle. Juurikanavilla ei liene ollut merkitystä vedenläpäisykyvyn kannalta, sillä volyymiltään suuremmat huokokset - lierokanavat ja halkeamat, joita esiintyi runsaasti - ovat huomattavasti tehokkaampia vedenjohtokyvyltään. Sen sijaan maan ilmaan juurikanavilla saattaa olla vaikutusta, sillä tiheä (juurikanava)huokosverkosto vähentänee anaerobisten pesäkkeiden syntymistä maahan. Juurikanavaverkoston merkitystä ilman- ja vedenjohto-orgaanina tulisi selvittää jatkotutkimuksilla.

Fysikaaliset ominaisuudet:

Mekaaninen vastus. Juurten kasvu loppuu kynnetyssä maassa alhaisemmalla mekaanisen vastuksen arvolla kuin kynnetyssä maassa, koska kyntämättömässä maassa on enemmän ehjiä biohuokosia, joita juuret käyttävät hyväkseen kasvaessaan (EHLERS ym. 1983). Siten rakennekokeen kyntämättömien koejäsenten korkeahko mekaaninen vastus maan pinta-kerroksessa tuskin rajoitti juurten kasvua. Vanha kyntöanturakin, joka ei ollut seitsemän vuoden aikana kokonaan hävinnyt kyntämättömistä käsittelyistä, oli jo täysin rei'itetty eikä sillä ollut merkitystä juurten maahan tunkeutumisen tai vedenläpäisykyvyn kannalta. Sen sijaan avokesannossa juurten kasvu olisi tyrehtynyt kyntöanturaan. Kyntämättömän maan kyky kantaa sadonkorjuukoneita oli pintakerroksien korkeahkon mekaanisen vastuksen perusteella hyvä. Lisäksi kyntämättömän maan huokokset olivat enimmäkseen pystysuuntaisia liero- ja juurikanavia, jotka myös kestävät koneiden aiheuttamaa mekaanista räsitusta rakenteen tiivistymättä.

Maan kosteussuhteet. Kemiallisen kesannon suhteellisen vaatimatonkin rikkakasvusto kuivasi maan lakastumisrajalle nopeasti. Kuivuminen ulottui ainakin mittaussyvyyteen (40 cm) asti. Myöskään muokatun kesannon pintakerros (20 cm) ei pystynyt pitämään kosteutta, vaan maa kuivui nopeammin kuin normaalissa viljelyssä. Syynä saattoi olla orgaanisen aineksen vähentyminen, mikä lisää evaporaatiota (ALLISON 1973, s. 346).

Viljellyissä koejäsenissä kosteus säilyi, kunnes oraat aloittivat yhteyttämisen ja haihduttamisen. Kevyesti muokattu maa kuivui hitaasti, koska maan pintaan jäi jonkin verran suojaavaa olkea, joka toimi katteena vähentäen evaporaatiota suoraan maan pinnasta (MIELKE ym. 1986). Kyntämättömässä maassa kasvien vedenkäyttö on myös yleensä tehokkaampaa kuin kynnetyissä maassa (NEGI ym. 1982). Suurehko mekaaninen vastus maan pinnassa tuskin hidasti juurten kasvunopeutta, sillä kasvun alkuvaiheessa (noin 3 viikkoa kylvöstä) juurten tunkeutumissyvyydessä ja -nopeudessa ei havaittu eroa kevyen ja normaalin muokkauksen välillä. Myöhemminkään kasvustossa ei havaittu merkkejä juurten kasvun estymisestä.

Huokostilavuus. Kemiallisen kesannon "lieromuokkaus" oli intensiteetiltään kyntöä tehokkaampi, sillä kemiallisen kesannon huokostilavuus oli suurempi kuin kynnetyissä käsittelyissä. Kevyesti muokatun maan huokostilavuus sen sijaan oli pienentynyt. Myös useissa muissa tutkimuksissa on todettu huokostilavuuden pienenevän aurattoman viljelyn menetelmissä (BAEUMER ja BAKERMANS 1973, NEGI ym. 1982, MARTI 1984, RILEY ym. 1985, MIELKE ym. 1986, GOSS ym. 1988). Siitä huolimatta maan ilmavuus ei todennäköisesti rajoittanut juurten kehittymistä, sillä jatkuvia huokosia pitkin happi pääsee diffundoitumaan (SIMOJOKI 1989).

Vedenläpäisykyky. Rakennekokeen vedenläpäisykyky oli hyvin korkea (NEGI ym. 1982, GOSS ym. 1988, MARSHALL ja HOLMES 1988). Kaikissa koejäsenissä läpäisykyky saavutti kriittisen arvon (ruokamultakerroksessa 10 cm/h, jankossa 1 cm/h ja pohjamaassa 0,5 cm/h, AURA 1990), eikä läpäisykyvyn perusteella voida siten asettaa koejäseniä paremmuusjärjestykseen. Kuitenkin kemiallisen kesannon merkitsevästi korkeimmalla läpäisykyvyllä voi olla merkitystä kasvukauden ulkopuolisissa lyhyinä jaksoina, kuten lumen sulaessa tai muissa tulvatilanteissa. Tällöin maa, jolla on erittäin korkea läpäisykyky, kuivuu (ja lämpenee) muok-

kauskuntoon muutamaa päivää aikaisemmin kuin huonommin läpäisevä maa ja meidän oloissamme niukka kasvukauden lämpösumma pystytään käyttämään tehokkaammin hyväksi. Myös mikrobien ja makrofaunan toimintaedellytykset maassa paranevat, kun anaerobisuus vähenee.

Satotulokset.

Viljelymenetelmällä, joka sisälsi kevyen muokkauksen, saatiin keskimäärin 20 % suurempi sato kuin normaalilla syyskynnöllä. Normaalin viljelyn edullisemmat lämpöolot kohottivat normaalin viljelyn sadon paremmaksi vuonna 1987, jolloin kasvukausi oli kylmä ja sateinen. Muut jakson vuodet olivat sääoloiltaan tyypilliset - kesä-heinäkuuhun ajoittui pitkähkö kuiva kausi. Tällöin korostui kasvien vedenkäytön tehokkuus, joka kevyesti muokatussa maassa oli parempi.

Kevennetty muokkausmenetelmä ei siis vaikuttanut satotasoon alentavasti, vaikka se pienensikin huokostilavuutta. Huokosten jatkuvuus ja tiheys kompensoivat pienemmän huokostilavuuden. Kevyet muokkausmenetelmät eivät kuitenkaan sovellu maille, joiden huokostilavuus on pieni ja rakenteen kestävyys heikko (MARTI 1984, PITKÄNEN 1988). Parhaat tulokset muokkauksen keventämisestä saataneenkin poudanaroilla hiesu- ja hiesavimailloilla, joiden huokostilavuus on suuri ja joissa on luontaisesti runsas lieropopulaatio.

Johtopäätökset.

Tämä tutkimus tukee aikaisemmista tutkimuksista (PITKÄNEN 1988) saatuja tuloksia, joiden mukaan muokkauksen radikaali vähentäminen - täydellinen syysmuokkauksesta luopuminen - näyttäisi mahdolliselta mailloilla, joiden huokostilavuus on suuri ja lierotoiminta luontaisesti dynaaminen. Sen sijaan huonorakenteisen, veden vaivaaman maan kunnostamiseen muokkauksen keventäminen ei ainakaan rakennekokeen menetelmin sovellu, sillä maan vedenjohtokyky ei rakennekokeessa näyttänyt ainakaan parantuneen muokkausta kevennettäessä. Lisäksi huonokuntoisesta maasta puuttuvat välttämättömät lierot (NUUTINEN 1990). Poutivimmilla mailloilla muokkauksen vähentäminen lienee vedenkäytön tehostamiseksi kuitenkin paikallaan.

Myös kesannon hoito muokkaamattomana, kemiallisena kesantona on selvästi suositeltavampaa kuin kesannon muokkaus. Varsinkin jatkuvan viljanviljelyn alueilla, joilla maan humuspitoisuus on alhainen, tulee orgaanisen aineksen vähentymistä välttää.

Muokkaamisesta on sekä haittaa että hyötyä maan rakenteen luontaiselle kehittymiselle. Voimakkaimmin muokkaus häiritsee orgaanisen aineksen akkumuloitumista maan pintaan, pysyvän juurikanavaverkoston kehittymistä ja lierojen toimintaa. Sen sijaan routaantumista, maan halkeilua ja paisumista sekä orgaanisen aineksen hajoamista muokkaus stimuloi. Kun muokkauksen intensiteetti on matala ja viljelykierto sisältää riittävästi nurmea, lienevät muokkauksen maan toimintoja stimuloivien vaikutusten aiheuttamat hyödyt suurempia kuin maan toimintojen häirinnästä aiheutuvat haitat, ja maan toiminnot ohjautuvat edulliseen suuntaan. Jatkuvassa viljanviljelyssä, jossa muokkauksen intensiteetti on korkea, saattavat haitalliset toiminnot - aggregaattien sidosmekanismien hajoaminen ja siitä johtuva rakenteen epästabiilisuuden voimistuminen - olla vaikuttavampia, mistä seuraa viljelyn vaikeutuminen. Siten maan hyödyllisten toimintojen kannalta muokkauksen intensiteetin vähentäminen on paikallaan.

Myös ympäristönsuojelun kannalta muokkauksen vähentäminen lienee toivottavaa. Kyntämättömän maan pinnassa orgaaninen kate ja lisääntynyt orgaaninen aines toimivat suojana eroosiota vastaan. Toisaalta fosforin konsentroituuminen maan pintaan ei ole tämän tutkimuksen valossa kovin merkittävää. Jatkotutkimuksissa olisi kuitenkin selvitettävä, miten tehokkaasti kyntämättömyys estää eroosiota ja fosforin huuhtoutumista meidän oloissamme, sillä ulkomaisissa tutkimuksissa, joissa kyntämättömyydellä on tuntuvasti pystytty vähentämään eroosiota, on eroosion lähtötaso - ja siis myös eroosio-ongelma - kymmeniä, jopa satoja kertoja suurempi kuin meidän oloissamme. Niinikään jatkossa on selvitettävä kesannossa käytettävien torjunta-aineiden huuhtoutumis- ja mahdolliset muut riskit.

4. KIRJALLISUUSLUETTELO

- ALLISON, L. E. 1969. Organic carbon. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agron. 9: 1367 - 1396. Madison, Wisconsin USA.
- ALLISON, F. E. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Developments in Soil Science 3: 1 - 637 p. Amsterdam.
- ALLMARAS, R. R., WARD, K., DOUGLAS, C. L. jr. & EKIN, L. G. 1982. Long-term cultivation effects on hydraulic properties of Walla Walla silt loam. Soil Tillage Res. 2: 265 - 279.
- 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. 1983a. Equipment for determining water permeability of a soil in situ using the auger hole method. 15 p. 2nd ed. Eijkelkamp. Equipment for soil research B. V. Giesbeek. The Netherlands.
- 1983b. The double ring infiltrometer. 11 p. 2nd ed. Eijkelkamp. Equipment for soil research B. V. Giesbeek. The Netherlands.
- 1985. SAS user's guide: statistics, version 5 edition. 956 p. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.
- 1986-1989. Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. 80-83: touko-elokuu. Ilmatieteen laitos. 192 s.
- 1987. Instruction manual for use of Bush recording soil penetrometer. Mark 1 model 1979. 20 p. Findlay, Irvine Ltd. Penicuik, Midlothian EH26 9BU, Scotland.
- 1988. SPSS-X user's guide. 1072 p. 3rd edition. Chicago, USA.
- 1989. Operating instructions for the model 5201 soilmoisture blocks. 6 p. Soilmoisture Equipment corp. Santa Barbara. USA.
- AURA, E. 1983. Soil compaction by the tractor in spring and its effect on soil porosity. J. Scien. Agr. Soc. Finl. 55: 91 - 107.
- 1985. Avomaan vihannesten veden ja typen tarve. MTTK:n tiedote 7: 1 - 61.
- 1988. Inverkan av reducerad jordbearbetning på jordstruktur och markens dräneringegenskaper. NJF seminarium nr 130: Reduceret jordbearbejdning. 6 s.
- 1990. Salaojien toimivuus savimaassa. MTTK:n tiedote 10: 1-93.
- BAEUMER, K. & BAKERMANS, W. A. P. 1973. Zero-tillage. Advances in Agron. 25: 77 - 123.

- BENOIT, G. R., YOUNG, R. A. & LINDSTRÖM, M. J. 1988. Freezing induced field soil water changes during five winters in West Central Minnesota. *Trans. Am. Soc. Agr. Engin.* 31: 1108 - 1114.
- BILLOT, J. 1982. Use of penetrometers for showing soil structure heterogeneity application to study of tillage impact and compaction effects. *Proc. 9th Conf. ISTRO, Osijek, Yugoslavia.* p. 177 - 182.
- BOUCHE, M. B. & GARDNER, R. H. 1984. Earthworm functions VIII. Population estimation techniques. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 21: 37 - 63.
- BOUWER, H. 1986. Intake rate: Cylinder Infiltrometer. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* Agron. 9. p. 825 - 844. 2nd ed. Madison, Wisconsin. USA.
- CHAUDRY, A. D., BAKER, C. J. & SPRINGETT, J. A. 1987. Barley seedling establishment by direct drilling in a wet soil. 2. Effects of earthworms, residue, and openers. *Soil Tillage Res.* 9: 123 - 133.
- CRONEY, D. & COLEMAN, J. D. 1954. Soil structure in relation to soil suction (pF). *J. Soil Sci.* 5: 75 - 84.
- CZERATSKI, W. 1971. Die Bedeutung des Bodenfrostes für den Ackerbau und speziell für den Bodenbearbeitung. *Landbauforschung Völkenrode* 21: 1 - 12.
- DAVIDSON, S. E. & PAGE, J. B. 1956. Factors influencing swelling and shrinking in soils. *Soil Sci. Soc. Proc.* 73: 320 - 324.
- DEXTER, A. R. 1988. Strength of soil aggregates and of aggregate beds. In book DRESCHER, J., HORN, N. & de BOODT, M (editors). *Impact of water and external forces on soil structure. Catena supplement 11.* 171 p. Cremlingen-Destedt. p. 35 - 52.
- DOUGLAS, J. T., JARVIS, M. G., HOWSE, K. R. & GOSS, M. J. 1986. Structure of a silty soil in relation to management. *J. Soil Sci.* 37: 137 - 151.
- DIEZ, TH., KREITMAYR, J. & WEIGELT, H. 1988. Influence of long-term minimum tillage on soil properties and yields. *Proc. of 11th ISTRO conf. Volume 2: tillage and traffic in crop production.* Edinburgh. p. 625 - 630.
- EDWARDS, C.A. 1981. Earthworms, soil fertility and plant growth. *Kongressijulkaisussa APPELHOF, M (toim.). Proceedings of workshop on the role of earthworms in the stabilazation of organic residues.* Vol I. 315 p. Kalamanzoo, Michigan. p. 61 - 85.
- & LOFTY, J. R. 1978. The influence of arthropods and earthworms upon root growth of direct drilled cereals. *J. Appl. Ecol.* 15: 789 - 795.

- EHLERS, W., 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.
- ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agr. Fenn.* 122: 1 - 122.
- FITZPATRICK, E. A. 1980. *Soils, their formation, classification and distribution.* 353 p. London.
- GEBHARDT, M. R., DANIEL, T. C., SCHWEIZER, E.E. & ALLMARAS, R. R. 1985. Conservation tillage. *Sci.* 230: 625 - 630.
- GOSS, M. J., CHRISTIAN, D. G., HOWSE, K. R. & BACON, E. T. G. 1988. Cultivation systems for clay soils. *Proceedings of 11th ISTRO conference. Volume 2: tillage and traffic in crop production.* Edinburgh. p. 673 - 678.
- GROENEVELT, P. H., KAY, B. D. & GRANT, C. D. 1984. Physical assessment of a soil with respect to rooting potential. *Geoderma* 34: 101 - 114.
- HAINES, W. B. 1923. The volume changes associated with variation of water content in soil. *J. Agric. Sci.* 13: 296 - 310.
- HAUKKA, J. K. 1988a. Effect of reduced cultivation on earthworms. *NJF seminarium nr 130: Reduceret jordbearbejdning.* 7 p.
- 1988b. Effects of various cultivation methods on earthworm biomasses and communities on different soil types. *Ann. Agric. Fenn.* 27: 263 - 269.
- HEINONEN, R. 1985a. Markstrukturbildens teori. *Fakta - mark/växter.* 27: 4 s.
- 1985b. *Soil management and crop water supply.* 105 p. 4th ed. Swedish Univ. Agric. Sci. Dept. Soil Sci. Uppsala.
- HOLMES, J. W. 1955. Water sorption and swelling of clay blocks. *J. Soil Sci.* 6: 200 - 208.
- HOPP, H. & HOPKINS, H. 1946. Earthworms as a factor in the formation of water stable aggregates. *J. Soil Water Conserv.* 1: 11 - 13.
- HORN, R. 1986. Auswirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf die mechanische Belastbarkeit von Ackerböden. *Z. Pfl.ernäh. Bodenkunde* 149: 9 - 18.
- JOSCHKO, M., DIESTEL, H. & LARINK, O. 1989. Assessment of earthworm burrowing efficiency in compacted soil with a combination of morphological and soil physical measurements. *Biol. Fertil. Soils* 8: 191 - 196.
- JUUSELA, T. & WÄRE, M. 1956. Suomen peltojen kuivatustila. *Draining conditions of the cultivated fields in Finland.* *Soil- and Hydrotechn. Res.* 8: 1 - 89 p. Helsinki.

- KEEN, B. A. 1931. The physical properties of the soil. 380 p. London.
- KIVISAARI, S. 1979. Effects of moisture and freezing on some physical properties of clay soils from plough layer. *Selostus: Kosteuden ja jäätyamisen vaikutus eräisiin muokkauskerroksesta otettujen savimaanäytteiden fysikaalisiin ominaisuuksiin*. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 51: 239 - 326.
- KLADIVKO, E. J., MACKAY, A. D. & BRADFORD, J. M. 1986. Earthworms as a factor in the reduction of soil crusting. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 191 - 196.
- KOKKONEN, P. 1926. Beobachtungen über die Struktur des Bodenfrostes. *Acta For. Fenn.* 30.
- LAIRD, J. M. & KROGER, M. 1981. Earthworms. *Crit. Rev. Env. Control.* May 1981: p. 189 - 218.
- LEE, K. E. 1985. Earthworms. Their ecology and relationships with soils and land use. 411 p. Academic Press, Sydney.
- LIND, A.-M. & EILAND, F. 1989. Microbiological characterization and nitrate reduction in subsurface soils. *Biol. Fertil. Soils* 8: 197 - 203.
- LINN, D. M. & DORAN, J. W. 1984. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 794 - 799.
- LOFS-HOLMIN, A. 1983. Influence of agricultural practices on earthworms. *Acta Agr. Scand.* 33: 225 - 234.
- LOW, A. J. 1955. Improvements in the structural state of soils under leys. *J. Soil Sci.* 6: 179 - 199.
- MAASILTA, A. 1959. Roudan syvyydestä peltomailla Suomessa. *Lisensiaattityö*.
- MARSHALL, T. J. & HOLMES, J. W. 1988. Soil physics. 374 p. 2nd ed. Cambridge University Press.
- MARTI, M. 1984. Kontinuierlicher Getreidebau ohne Pflug im Südosten Norwegens - Wirkung auf Ertrag, physikalische und chemische Bodenparameter. 144 S. Norges Lantbrukshøgskole. *Abhandl. Dr. scient. Inst. for jordkultur*.
- MATTSON, R. 1988. Plöjningsfri odling och direktsådd. *Aktuellt från lantbruksuniversitetet* 371: 1 - 38.
- MIELKE, L. N., DORAN, J. W. & RICHARDS, K. A. 1986. Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil Tillage Res.* 7: 355 - 366.
- MOOLMAN, J. H. & VAN HUYSSTEEN, L. 1989. A geostatistical analysis of the penetrometer soil strength of a deep plowed soil. *Soil Tillage Res.* 15: 11 - 24.

- MÜCKENHAUSEN, E. 1982. Die Bodenkunde, und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. 579 S. 2. Aufl. Frankfurt am Main. Die BRD.
- NEGI, S. C., RAGHAVAN, G. S. V. & TAYLOR, F. 1982. Hydraulic characteristic of conventionally and zero-tilled field plots. Soil Tillage Res. 2: 281 - 292.
- NUUTINEN, V. 1990. Lierot peltoviljelyssä. Koetoim. ja Käyt. 47: 44.
- PITKÄNEN, J. 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. MTTK:n Tiedote 21: 62 - 166.
- 1989. Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen. Vakolan Tutk.selostus n:o 54: 33 - 68.
- , ELONEN, P., KANGASMÄKI, T., KÖYLIJÄRVI, J., TALVITIE, H., VIRRI, K. & VUORINEN M. 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset kevätiljojen satoon ja laatuun: kuuden koevuoden tulokset. MTTK:n Tiedote 21: 1-61.
- QUIRK, J. P. & PANABOKKE, C. R. 1962. Pore volume-size distribution and swelling of natural soil aggregates. J. Soil Sci. 13: 71 - 81.
- RAW, F. 1959. Estimating earthworm populations by using formalin. Nature (Lond.) 184: 1661 - 1662.
- RICHARDS, L. A. & FIREMAN, M. 1943. Pressure-plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. Soil Sci. 56: 395 - 404.
- RILEY, H., NJØS, A. & EKEBERG, E. 1985. Plogfri jordarbeiding til vårkorn. II. Jordundersøkelse. Forskning og forsøk i landbruket. 36: 53 - 59.
- SAFFIGNA, P.G., POWLSON, P. S., BROOKES, P. C. & THOMAS, G. A. 1989. Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. Soil Biol. Biochem. 21: 759 - 765.
- SANDBORG, J. & RODSKJER, N. 1983. Changes of soil water content under winter wheat, barley and bare soil during the growing season. A field study. Swed. J. agric. Res. 13: 17 - 29.
- SCACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., HARTGE, K.-H. & SCHWERTMANN, U. 1982. Lehrbuch der Bodenkunde. 442 S. 11. Auflage. Stuttgart.
- SIMOJOKI, A. 1989. Tiivistymisen vaikutus maan ilmavuuteen kasvutekijänä. 142 s. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto.
- 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.

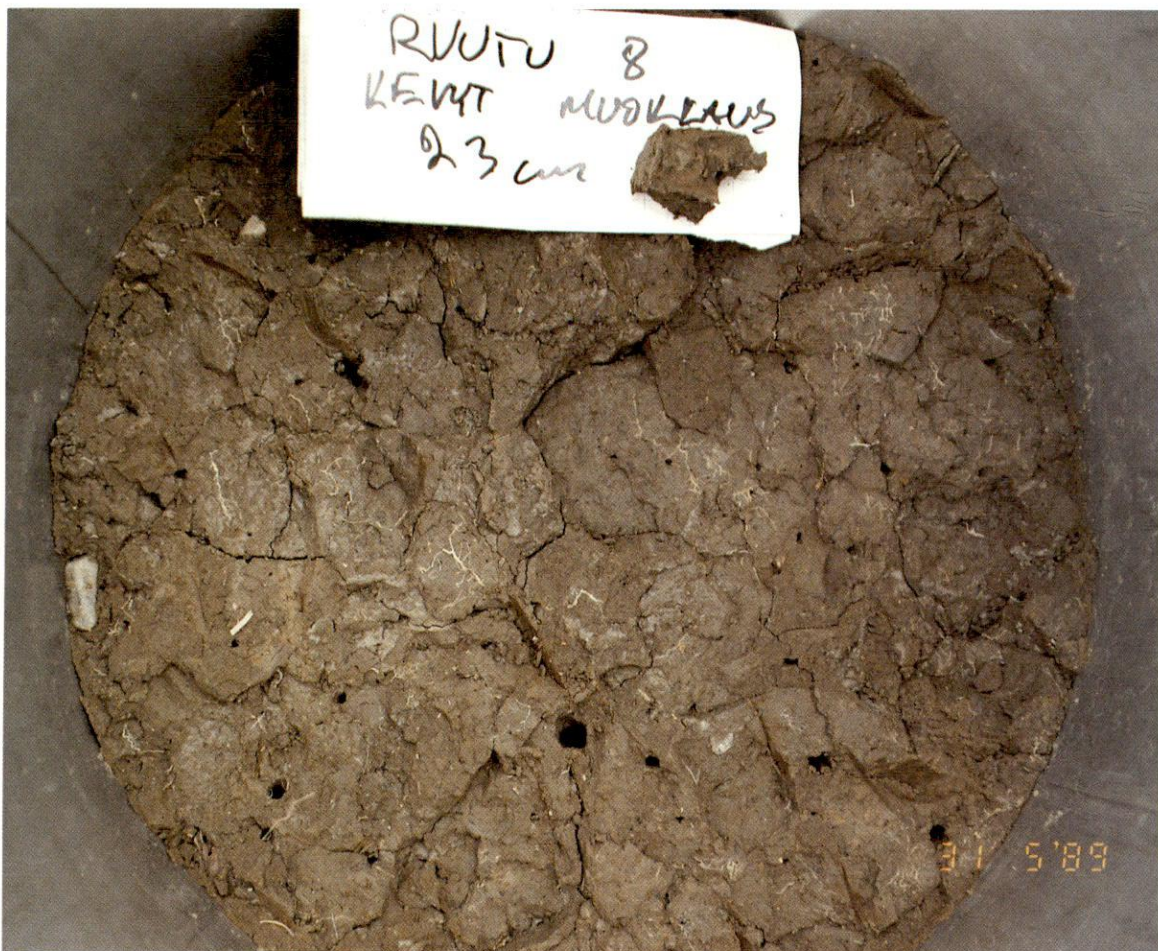
- SOANE, B. D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil Tillage Res.* 16: 179 - 201.
- SOVERI, J. & VARJO, M. 1977. Roudan muodostumisesta ja esiintymisestä Suomessa vuosina 1955-1975. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 20: 1 - 66.
- SPOOR, G. 1975. Fundamental aspects of cultivations. *Soil Physical Conditions and Crop Production*. London. p. 128 - 144.
- SPRINGETT, J. A. 1983. Effect of five species of earthworm on some soil properties. *J. Appl. Ecol.* 20: 865 - 872.
- SRIVASTAVA, K. L., SMITH, G. D. & JANGAWAD, L. S. 1989. Compaction and shading effects on surface cracking in a vertisol. *Soil Tillage Res.* 13: 151 - 161.
- THUNHOLM, B. & HÅKANSSON, I. 1988. Influence of tillage on frost depth in heavy clay soil. *Swed. J. Agric. Res.* 18: 61 - 65.
- TISDALL, J. M. & OADES, J. M. 1980. The effects of crop rotation on aggregation in a red-brown earth. *Aust. J. Soil Res.* 18: 423 - 433.
- TÖRMÄLÄ, T. 1979. Numbers and biomass of soil invertebrates in a reserved field in central Finland. *J. Scien. Agr. Soc. Finl.* 51: 172 - 187.
- VAN DER MEER, O. & TUOMISTO, J. 1984. Glyfosaatin vaikutus lieroihin. *Jyväskylän yliop. biol. laitoksen tiedonantoja* 40: 140 - 144.
- VUORINEN, J. & MÄKITIE, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeol. Julk.* 63: 1 - 44.
- WELBANK, P. J., GIBB, M. J., TAYLOR, P. J. & WILLIAMS, E. D. 1973. Root growth of cereal crops. Rothamsted experimental station. Report 1973. Part 2: 26 - 66.
- WERSCHEINER, P. W. 1958. Die physikalische Grundlagen der Strukturbildung. *Tagungsber.* 13: 129 - 138.
- WHITELEY, G. M. & DEXTER, A. R. 1984. Displacement of soil aggregates by elongating roots and emerging shoots of crop plants. *Plant and Soil* 77: 131 - 140.
- WILD, A. (edit.) 1988. *Russel's soil conditions & plant growth*. 991 p. 11th edit. Avon.
- WOODS, L. E. 1989. Active organic matter distribution in the surface 15 cm of undisturbed and cultivated soil. *Biol. Fertil. Soils* 8: 271 - 278.



Liitekuva 1a. Kemiallisen kesannon jankko on täysin liero- ja juurikanavien rei'ittämä. Lieriön halkaisija 30 cm (kuvat 1a-1b).



Liitekuva 1b. Muokatun kesannon jankossa ei ole liero- eikä juurikanavia. Halkeamat ovat pieniä vähäisen kuivumisen vuoksi.



Liitekuva 1c. Kevyesti muokatun maan jankko. Huomaa liero- ja juurikanavat sekä vähäinen halkeilu.



Liitekuva 1d. Normaalisti viljellyn, joka syksy kynnetyn maan jankko. Tyypillistä runsas halkeilu. Lierokanavia on enemmän kuin muokatussa kesannossa, mutta selvästi vähemmän kuin kevyesti muokatussa maassa.



Liitekuva 2. Normaalisti viljellyn (vas.) ja kevyesti muokatun maan pystyprofiilit (0–55 cm). Normaali viljely on aiheuttanut selvän kyntöanturan (20–40 cm). Antura on jonkin verran halkeillut ja lierokanavia on siellä täällä. Näkyviä juuria on kyntökerroksen alapuolella vähän. Kevyesti muokatusta maasta kyntöantura on sen sijaan hävinnyt kokonaan ja jankko on lierojen murentama. Juuret ovat selvästi kasvaneet lierokanavia pitkin.

Liite 3. Kuukausittainen sademäärä (mm) ja keskilämpötila (°C) Jokioisissa kasvukauden aikana vuosina 1986-1989 (ANON. 1986-1989).

Kuukausi	1986 °C		1987 °C		1988 °C		1989 °C		1931-60 °C	
	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C
Toukokuu	52	10,5	38	7,6	44	11,4	41	10,4	39	8,8
Kesäkuu	11	16,3	81	12,1	25	16,5	30	15,4	42	13,7
Heinäkuu	65	16,2	68	14,8	128	19,0	85	16,3	70	16,2
Elokuu	110	12,9	83	11,7	79	14,1	92	13,7	74	14,7
Syyskuu	102	6,4	120	8,4	85	10,8	51	11,0	61	9,7
yht. mm	340		390		361		299		286	

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUKSEN TIEDOTTEET

1986

1. Tiivistelmiä MTTK:n tutkimuksista ja julkaisuista 1985. 69 p.
2. KEMPPAINEN, E. Karjanlannan hoito ja käyttö Suomessa. 102 p. + 6 liitettä.
3. KEMPPAINEN, E. & HAKKOLA, H. Lietelanta nurmen peruslannoitteenä. 25 p.
4. NIEMELÄINEN, O. Nurmikkoheinien ominaisuudet. Kirjallisuustutkimus. Tuloksia punanatojen ja niittyurmikan virallisista nurmikon lajikekokeista vuosilta 1977-1984. 48 p.
5. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1978-1985. 128 p. + 4 liitettä.
6. NIEMELÄINEN, O. & PULLI, S. Puna-apilalajikkeiden siemenmuodostus. Tuloksia apilan virallisista siemenviljelyn lajikekokeista vuosilta 1978-1984. 42 p.
7. NIEMELÄINEN, O. Syksyn, talven ja kevään lämpö- ja valo-olojen vaikutus koiranheinän, niittyurmikan ja punanadan röyhymuodostukseen. Kirjallisuustutkimus. 51 p.
8. ERVIÖ, L-R. & ERKAMO, M. Pakettipellon viljelyn uudelleen aloittaminen herbisidien avulla. p. 1-15.
ERVIÖ, L-R. Korren vahvistaminen timotein siemenviljelyksillä. p. 16-21.
HIIVOLA, S-L. Klormekvatin käyttö timotein siemennurmilla. p. 22-27.
ERVIÖ, L-R. & HIIVOLA, S-L. Herbisidien käytön vähentäminen viljakasvustossa. p. 28-42.
9. KEMPPAINEN, E. & HAKKOLA, H. Säilörehun puristeneste ja virtsa lannoitteina. 43 p.
10. MATIKAINEN, A. & HUHTA, H. Nurmikasvilajikkeet Karjalan tutkimusasemalla. 24 p.
11. SOVERO, M. Nopsa-kevättrypsi. 15 p. + 2 liitettä.
12. NIEMELÄ, P. Kuiviketurpeen soveltuvuus turkistarhoilla kertyvän sonnan ja virtsan käsittelyyn. 15 p. + 4 liitettä.
13. PULLI, S., VESTMAN, E., TOIVONEN, V. & AALTONEN, M. Yksivuotisten tuorerehukasvien sopeutuminen Suomen kasvuoloihin. 51 p.
14. SIMOJOKI, P., RINNE, S-L., SIPPOLA, J., RINNE, K., HIIVOLA, S-L. & TALVITIE, H. Hernekaurasta saatava typpilannoitushyöty. 27 p. + 22 liitettä.
15. SÄKÖ, J. & YLI-PIETILÄ, M. Hedelmäpuiden ja marjakasvien talvehtiminen talvella 1984-1985. 28 p.
16. MANNER, R. & KORTET, S. Niina-ohra. 31 p. + liite.

17. TURTOLA, E. & JAAKKOLA, A. Viljelykasvien, lannoituksen ja sadetuksen vaikutus kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, natriumin, sulfaattirikin sekä kloridin huuhtoutumiseen savimaasta. 43 p.
18. TOIVONEN, V. & LAMPILA, M. Juurikasvisäilörehujen valmistus, laatu, rehuarvo ja mahdollinen käyttö etanolin valmistuksessa. 106 p. + 23 liitettä.
19. ETTALA, E. & VIRTANEN, E. Ayrshiren, friisiläisen ja suomenkarjan monivuotinen vertailu kotovaraisella säilörehu-vilja- ja heinä-vilja-urearuokinnalla. 1. Kolmen ensimmäisen lypsykauden tuotantotulokset. 114 p. + 5 liitettä.
20. ETTALA, E. & VIRTANEN, E. Ayrshiren, friisiläisen ja suomenkarjan monivuotinen vertailu kotovaraisella säilörehu-vilja- ja heinä-vilja-urearuokinnalla. 2. Lehmien syöntikyky, ravinnonsaanti ja rehun hyväksikäyttö sekä hedelmällisyys ja kestävyys kolmen ensimmäisen tuotantovuoden aikana. 293 p. + 23 liitettä.
21. RAVANTTI, S. Iki-timotei. 33 p. + 1 liite.
22. URVAS, L. & VIRKKI, K. Maaperäkarttaselitys. Turku-Rymättylä. 34 p. + 7 liitettä.
23. VUORINEN, M. Kalkituskoekiden tuloksia saraturvemaalta 1977-1983. 22 p.

1987

1. Tiivistelmiä MTTK:n tutkimuksista ja julkaisuista 1986. 72 p.
2. PALDANIUS, E. Oljen kompostointi erilaisia seosmateriaaleja typpilähteinä käyttäen. 55 p. + 1 liite.
3. LEIVISKÄ, P. & NISSILÄ, R. Säämittauksen tuloksia Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ruukissa. 31 p.
4. HAKKOLA, H., HEIKKILÄ, R., RINNE, K. & VUORINEN, M. Odelman typpilannoitus, sängenkorkeus ja niittoaika. 39 p.
5. NIEMELÄ, T. & NIEMELÄINEN, O. Kasvualustan tiivistyminen ja nurmikon kuluminen nurmikon stressitekijöinä. Kirjallisuuskatsaus. p. 1-30.
NIEMELÄ, T. Siirtonurmikon kasvatus ja käyttö. Kirjallisuuskatsaus. p. 31-42.
6. LUOMA, S., RAHKO, I. & HAKKOLA, H. Kiinankaalin viljelykoekiden tuloksia 1981-1985. 25 p.
7. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekoekiden tuloksia 1979-1986. 165 p. + 9 liitettä.
8. SEPPÄLÄ, R. & KONTTURI, M. Mallasohran reagointi typpilannoitukseen. p. 1-66.
KUISMA, T. & KONTTURI, M. Typpilannoituksen vaikutus ohralajikkeiden mallastuvuuteen. p. 67-134.

9. YLI-PIETILÄ, M., SÄKÖ, J. & KINNANEN, H. Puuvartisten koristekasvien talvehtiminen talvella 1984-1985. 38 p.
10. VUORINEN, M. & TAKALA, M. Porkkanan ja punajuurikkaan sadetus, typpilannoitus ja kalkitus poutivalla hiekkamaalla. 30 p.
11. MULTAMÄKI, K. & KASEVA, A. Kotimaiset lajikkeet. p. 1-8.
Domestic Varieties. p. 9-17.
12. TUOVINEN, T. Omenakääriäisen ennustemenetelmä. p. 1-17. Pihlajanmarjakoin ennustemenetelmä. p. 18-32.
13. MÄKELÄ, K. Peittauksen vaikutus kotimaisen heinänsiemenen itävyyteen, orastuvuuteen ja sienistöön. 15 p.
14. Osa 1. YLÄRANTA, T. Radioaktiivinen laskeuma ja säteilyvalvonta. PAASIKALLIO, A. Radionuklidien siirtyminen viljelykasveihin. 62 p.
Osa 2. KOSSILA, V. Radionuklidien siirtyminen kotieläimiin ja eläintuotteisiin sekä vaikutukset eläinten terveyteen ja tuotantoon. 109 p.
15. RAVANTTI, S. Alma-timotei. 38 p. + 2 liitettä.
16. LEHMUSHOVI, A. Ryhmäruusujen lajikekokeet vuosina 1981-1984. 29 p.
17. JOKINEN, R. & TÄHTINEN, H. Karkeiden kivennäismaiden ja turvemaiden kuparipitoisuus ja sen vaikutus kauran kasvuun astiakokeessa. p. 1-17.
Maan kuparipitoisuuden ja happamuuden vaikutus kuparilannoituksella saatuihin kauran satotuloksiin. p. 18-37.
Maan pH-luvun ja kuparilannoituksen vaikutus kauran hivenravinnepitoisuuksiin. p. 38-47.
Kaura- ja ohralajikkeiden herkkyyks kuparin puutteelle ja eri kuparimäärillä saadut tulokset. p. 48-62.
Kuparilannoittelajien vertailu astiakokeessa kauralla. p. 63-68.
18. HIIRSALMI, H., JUNNILA, S. & SÄKÖ, J. Ahomansikasta suomalainen viljelylajike. p. 1-8.
Mesimarjan jalostus johtanut tulokseen. p. 9-21.
19. TALVITIE, H., HIIVOLA, S-L. & JÄRVI, A. Satojen ja satovahinkojen arviointitutkimus. 87 p.
20. KEMPPAINEN, R. Puna-apilan ympäys Rhizobium-bakteerilla. Inoculation of red clover by Rhizobium strain. 24 p.
21. LAMPILA, M., VÄÄTÄINEN, H. & ALASPÄÄ, M. Korsirehujen vertailu kasvavien ayrshire-sonnien ruokinnassa. p. 1-40.
ARONEN, I., HEPOLA, H., ALASPÄÄ, M. & LAMPILA, M. Erisuuruiset väkirehuannokset kasvavien ayrshire-sonnien olkiruokinnassa. P. 41-66.
ARONEN, I., ALASPÄÄ, M., HEPOLA, H. & LAMPILA, M. Bentsoehappo säilörehun valmistuksessa. p. 67-86.
22. TURTOLA, E. & JAAKKOLA, A. Viljelykasvien vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen savimaasta Jokioisten huuhtoutumiskentällä v. 1983-1986. 32 p. + 2 liitettä.

23. PIETOLA, L. & ELONEN, P. Peltokasvien sadetus normaalia kosteampina kasvukausina 1980-85. 76 p. + 1 värikuvaliite.
24. PIETOLA, L. Maan mekaaninen vastus kasvutekijänä. 94 p. + 3 liitettä.
- 1988
1. Tiivistelmiä MTTK:n tutkimuksista ja julkaisuista 1987. 83 p.
 2. ANISZEWSKI, T. Puiden, pensaiden ja viljeltävän turvemaan fenologinen tutkimus. Phenological study on the trees, bushes and arable peat land. 120 p. + 5 liitettä.
 3. RINNE, S-L., HIIVOLA, S-L., TALVITIE, H., SIMOJOKI, P., RINNE, K. & SIPPOLA, J. Viherkesannon vaihtoehdot rukiin viljelyssä. 53 p. sisältäen 9 liitettä.
 4. JUNNILA, S. Pienannosherbisidit kevätiljoilla - Glean 20 DF, Ally 20 DF ja Logran 20 WG. p. 1-15.
Starane M kevätiljojen rikkakasvien torjunnassa. p. 16-18.
Kamilon B ja Kamilon D kevätiljojen rikkakasvien torjunnassa. p. 19-23.
Kevätviljaherbisidit Rikkahävite KH 10/77, KH 2/83 ja Ipactril. p. 24-31.
 5. KIIISKINEN, T. & MÄKELÄ, J. Kasviperaisten valkuaisrehujen sulavuus minkillä. Smältbarhet av vegetabiliska proteinfodermedel hos mink. Digestibility of protein feedstuffs derived from plants in mink. p. 1-13
KIIISKINEN, T., MÄKELÄ, J. & ROUVINEN, K. Eri viljalajien sulavuus minkillä ja siniketulla. Smältbarhet av olika spannmål hos mink och blåräv. Digestibility of different grains in mink and blue fox. p. 14-23.
 6. SIMOJOKI, P. Ohran boorinpuutos. 100 p. + 3 liitettä.
 7. SIMOJOKI, P. Lupiinin viljelytekniikka. p. 3-22, 2 liitettä.
EKLUND, E. & SIMOJOKI, P. Yksivuotisen lupiinin nystyräbakteerien eristäminen ja valikoitujen siirroskantojen testaus kenttäolosuhteissa. p. 23-34, 1 liite.
ANISZEWSKI, T. Kylvöajan vaikutus lupiinin (*Lupinus angustifolius* L.) siemensatoon Keski- ja Pohjois-Suomessa. p. 35-54.
ANISZEWSKI, T. Lupiinin siementuotanto Keski- ja Pohjois-Suomessa. p. 55-90.
 8. HÄMÄLÄINEN, I. & ERVIÖ, R. Maaperäkarttaselitys, Jyväskylä. 39 p. + 14 liitettä.
 9. ERVIÖ, R. & HÄMÄLÄINEN, I. Maaperäkarttaselitys, Lahti. 41 p. + 2 liitettä.
 10. TAKALA, M. Palkokasvien biologiasta. 18 p. + 26 taulukkoa.
 11. TAKALA, M., TAHVONEN, R. & VUORINEN, M. Väkilannoitus ja "biologiset" viljelymenetelmät perunan, porkkanan ja punajuurikkaan viljelyssä. 36 p.

12. MUSTONEN, L., RANTANEN, O., NIEMELÄINEN, O., PAHKALA, K., KONTTURI, M. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1980-1987. 138 p. + 1 liite.
 13. LUNDEN, K. & SÄKÖ, J. Koristepuiden ja -pensaiden talvehtiminen. Talvi 1986/87. 86 p. + 4 liitettä.
 14. SÄKÖ, J. & LUNDEN, K. Talven 1986-87 tuhot hedelmä- ja marjatarhoissa. 34 p.
 15. RINNE, K. & MÄKELÄ, J. Karitsoiden kasvu laitumella. 18 p.
 16. ILOLA, A. Katovuoden 1987 kevätviljojen siemenen orastumiskokeet. p. 1-17.
RANTANEN, O. & SOLANTIE, R. Uusi peltoviljelyn alue- ja vyöhykejakoehdotus. p. 18-31.
 17. RAHKONEN, A. & ESALA, M. Kevätviljojen ja -öljykasvien kylvöaika. 72 p.
 18. JUNNILA, S. Perunaherbisidejä tehokkuustarkastuksessa. p. 1-15.
Lehvästön hävitys herneellä ja öljykasveilla. p. 16-24.
 19. KEMPPAINEN, E. Didinin (disyandiamidi) vaikutus naudannan liete-
lannan tehoon ohran lannoitteena. 35 p.
 20. ETTALA, E. & VIRTANEN, E. Ayrshiren, friisiläisen ja suomenkarjan vertailu vasikka- ja hiehkokaudella säilörehu-vilja- ja heinä-vilja-urea-ruokinnalla. 92 p.
 21. PITKÄNEN, J., ELONEN, P., KANGASMÄKI, T., KÖYLIJÄRVI, J., TALVITIE, H., VIRRI, K. & VUORINEN, M. Aurattoman viljelyn vaikutukset kevätviljojen satoon ja laatuun: kuuden koevuoden tulokset. p. 1-61 sisältäen 3 liitettä.
Summary: Effects of ploughless tillage on yield and quality of cereals: results after six years.
- PITKÄNEN, J. Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. p. 62-167 sisältäen 3 liitettä.
Summary: Effects of ploughless tillage on physical and chemical properties of soil.
22. KÄNKÄNEN, H. & KONTTURI, M. Kylvötiheyden vaikutus lehtityypiltään erilaisten herneiden sadon muodostumiseen. 69 p.

1989

1. Tiivistelmiä MTTK:n tutkimuksista. 23 p.
2. MUSTONEN, L., RANTANEN, O., NIEMELÄINEN, O., PAHKALA, K. & KONTTURI, M. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1981-1988. 147 p. + 8 liitettä.
3. VUORINEN, M. Turvemaan kaliumlannoitus. 17 p.
4. TAKALA, M. Saderiskien ja korjuutappioiden vähentämismahdollisuuksista heinäkorjuussa. 21 p. + 12 liitettä.

5. HAKKOLA, H., PULLI, S. & HEIKKILÄ, R. Nurmikasvien siemenseoskokeiden tuloksia. 57 p.
6. HAKKOLA, H. & LUOMA, S. Perunan viljelykokeiden tuloksia 1981-88. 25 p.
7. AFLATUNI, A. & LUOMA, S. Avomaan vihannesten lajikekokeiden tuloksia 1986-88. 36 p.
8. HÄRKÖNEN, M. & MUSTALAHTI, A. Perennojen menestyminen ja kukinta-ajat Pohjois-Suomessa 1979-85. 20 p. + 2 liitettä.
9. RUOTSALAINEN, S. Marjakasvien tervetaimituotanto ja sen merkitys Suomessa. 57 p.
10. UUSI-KÄMPPÄ, J. Vesistöjen suojaaminen rantapeltojen valumilta. 66 p.
11. Öljykasvien viljelyn edistäminen. Yhteistutkimuksen tuloksia vuosilta 1985 - 1988. Toimittanut Katri Pakkala. 95 p.
12. JUHANOJA, S. Juurrutushormonien käyttö vesiviikunan Ficus pumila L. pistokkaiden juurrutuksessa. p. 2-6.
 JUHANOJA, S. & PESSALA, T. Vuodenajan vaikutus viherkasvien pistokkaiden juurtumiseen ja taimien jatkokasvatusaikaan. p. 7-22.
 JUHANOJA, S. Ampelikasvien viljelyaikatauluja. p. 23-34.
 PESSALA, T. Sulkasaniaisen lisäys. p.35-38.
14. JOKI-TOKOLA, E. Väkiheinä ja säilörehut lihanautojen ruokintakokeissa. 46 p.
15. MÄKELÄ, K. Kesäkukkien kauppassiemenen laatu. 15 p. + 10 liitettä.
16. KÄNKÄNEN, H., HIIVOLA, S.-L. & HEIKKILÄ, R. Kalkitusajankohdan vaikutus kalkituksen tehoon. 38 p. + 1 liite.
17. ROUVINEN, K. & NIEMELÄ, P. Plasmasytoosi heikentää pentutulosta ja pentujen varhaiskehitystä minkillä. Plasmacytos försämrar avelsresultatet och valparnas tidiga tillväxt hos mink. Plasmacytosis impairs breeding result and early kit growth in the mink. p. 1-17.
 ROUVINEN, K. Erilaisten rasvojen sulavuus minkin ja siniketun pennuilla - emulgaattorien vaikutus. Fettsmältbarhet hos mink- och blårävsvalpar - inverkan av emulgerande ämnen. Digestibility of different fats in mink and blue fox kits - influence of emulsifying agents. p. 18-37.
18. JOKINEN, R. Fosforin saostukseen käytettävien kemikaalien vaikutus jätevesilietteiden ominaisuuksiin sekä käyttöarvoon lannoitteena ja maanparannusaineena. p. 54.
19. JÄRVI, A. Typpilannoitus ja kasvuston CCC-käsittely timotein siemennurmilla. p. 1-24.
 Timotein siemennurmen typpilannoitus, riviväli ja siemenmäärä. p. 26-48.
 Alkuperältään erilaiset timoteilajikkeet siementuotannossa. p. 50-52.
20. URVAS, L. & TARES, T. Maanäytteen ottoaika ja viljavuusluvut. 17 p.

21. SAASTAMOINEN, M. & PÄRSSINEN, P. Yty-kaura. 29 p. + 2 liitettä.
22. RAVANTTI, S. Juliska-punanata. 51 p. + 1 liite.

1990

1. Tiivistelmiä MTTK:n tutkimuksista. 40 p.
2. MARKKULA, M., TIIITTANEN, K. & VASARAINEN, A. Torjunta-aineet maa-ja metsätaloudessa 1953 - 1987. 58 p.
3. KUMPULA, R. Mikrolisätyn mansikan emotaimiklooneissa esiintyvä muuntelu. 61 p. + 2 liitettä.
4. MELA, T., KÄNKÄNEN, H. & ILOLA, A. Heikkoitoisen kevätviljan arvo kylvösiemenenä. 28 p. + 20 liitettä.
5. SALO, Y & PIETILÄ, E. Laari-kevätevehnä. 32 p. + 2 liitettä.
6. RIEPPONEN, L. & RINNE, S-L & HIIVOLA, S-L & SIMOJOKI, P. & SIPPOLA, J. ja TALVITIE, H. Omavaraisen ja tavanomaisen viljelyn kannattavuusvertailu. 38 p. + 8 liitettä.
7. MUSTONEN, L., RANTANEN, O., NIEMELÄINEN, O., PAHKALA, K. & KONTTURI, M. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1982 - 1989. 129 p. + 2 liitettä.
8. URVAS, L. Sinkkisulfaatti timotein lannoitteena p. 1-11
Sinkkisulfaatti ja kelaatit sinkkilannoitteina p. 12-18
9. KOIKKALAINEN, K., HUHTA, H., VIRKAJÄRVI, P. & HEIKKILÄ, R. Pitkäaikaisen säilörehunurmen kaliumlannoitus heikosti kaliumia pidättävillä mailla. 59p. 9 liitettä.
10. AURA, E. Salaojien toimivuus savimaassa. 93p.
11. UOSUKAINEN, M. Tervetaimiasemalla tuotannossa olevat ja lajikekokeita varten lisätyt luumulajikkeet. p. 1-29.
UUSITALO, M. Luumujen ja kirsikan virustaudit. p. 31-42.
12. JUHANOJA, S. Kesäkukkien leikkoviljely kasvihuoneessa. p. 1-24 + 1 liite.
JUHANOJA, S. Morsiusharson kaksivuotinen lasinalaisviljely. p. 25-32.
JUHANOJA, S. Pikkusipulikukkien leikkoviljely kasvihuoneessa. p. 33-37.

1991

2. MUSTONEN, L., RANTANEN, O., NIEMELÄINEN, O., PAHKALA, K. & KONTTURI, M. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1983-1990. 146 p. + 2 liitettä.
3. VILKKI, J. Kulta-kevätrypsi. 20 p. + 1 liite.

4. KEMPPAINEN, E. & VUORINEN, M. Maanparannusaineiden vertailu kenttäkokeessa. (Sotkamon maanparannuskoe).
5. YLÄRANTA, T. Maataloustuotannon vaikutus kasvihuoneilmiöön Suomessa. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. 18 p.
6. HANNUKKALA, A. Puikulan viljelytekniikka Lapissa. 23 p.
7. URVAS, L. & HÄMÄLÄINEN, I. Viljeltyjen moreenimaiden kemialliset ominaisuudet. Kirjallisuuskatsaus. 28 p.
8. JUHANOJA, S. Freesian sadon ajoittaminen. 57 p.
9. LAURILA, L., HIIVOLA, S-L. & KARVONEN, T. Rukiin sakoluku Etelä-Pohjanmaalla. 56 p.
10. HUUSELA-VEISTOLA, E., PAHKALA, K. & MELA, T. Peltokasvit sellun ja paperin raaka-aineena. Kirjallisuustutkimus. 36 p. + 1 liite.
11. TIIRI, J. Muokkauksen vaikutus maan toimintoihin. 82 p.
18. JUNNILA, S. & ERVIÖ, L-R. Uusien herbisidien tehokkuus ja käyttökelpoisuus viljakasvustoissa. 48 p.

