



**MTTK**

**MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS**

**Tiedote 10/90**

**ERKKI AURA**  
Kasvintuotannon tutkimuslaitos

**Salaojien toimivuus savimaassa**

**JOKIOINEN 1990**  
**ISSN 0359-7652**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

TIEDOTE 10/90

ERKKI AURA

SALAOJIEN TOIMIVUUS SAVIMAASSA

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

ISSN 0359-7652

SISÄLLYSLUETTELO	Sivu
TIIVISTELMÄ	1
JOHDANTO	3
A. VEDEN PÄÄSY SALAOJAAN	4
B. KOEJÄRJESTELY	6
1. Kenttäkokeet	6
2. Koemat	8
3. Pohjaveden korkeuden mittaus	9
4. Salaojien toiminnan ennustaminen maaprofiilien ominaisuuksien avulla	10
5. Läpäisykyvyn mittaukset ja suurten huokosten määrittäminen	13
6. Muut määritykset	21
C. TULOKSET	22
1. Salaojan kaivuuleveys- ja sorastuskoe	22
2. Sorasilmäkekoe	30
3. Entisen salaojituksen tehostaminen	34
4. Hakekoe	40
5. Täydennysojien täyttömateriaalikoe	43
6. Läpäisykyvyn ja ojavälin merkitys laskennan mukaan	43
D. TULOSTEN TARKASTELU	51
KIRJALLISUUSLUETTELO	55
Liite 1. Salaojasysteemiä koskevan reuna-arvo-ongelman ratkaiseminen elementtimenetelmällä	57
Liite 2. Vedenpidätyskapasiteetti C ja suhteellinen suhteellinen vedenjohtokyky $K_1$	72
Liite 3. Läpäisykyvyn laskeminen kolomittausten perusteella elementtimenetelmää käyttäen	77
Liitetaulukot	81
Liitekuvat	89

## TIIVISTELMÄ

Vuosina 1985-88 tutkittiin viiden kenttäkokeen avulla salaojien toimintaa jäykällä savimailla. Kaikissa koemaissa pohjamaa oli aitosavea. Tutkimuksessa selvitettiin kaivuuleveyden, ympärysainesoran määrän, sorasilmäkkeiden, täydennysojien ja kaivannon täyttömateriaalien vaikutusta salaojien toiminnan tehokkuuteen. Koe- maiden eri kerroksille määritettiin läpäisykyky ja suurimpien huokosten ( $\phi > 0.3$  mm) tilavuus. Kahdellekymmenelle koemaasta kaivetulle sylinterinäytteelle määritettiin vedenpidätyskäyrä ja viidelle sylinterinäytteelle vedenjohtokyky kyllästämättömässä maassa kapillaaripotentialin välillä 0 - -100 cm. Salojien toimivuutta seurattiin pohjavesiputkien avulla. Nämä sopivat hyvin tähän tarkoitukseen, koska kapillaaripotentialin alentuessa nollan alapuolelle savimaiden ilmatila kasvaa aluksi hyvin nopeasti. Tämän vuoksi ojiin juokseva vesi on varastoituneena lähinnä veden kylästämään osaan maata ja vapaan veden pinnan taso voidaan mitata tarkasti.

Kokeellista työtä täydennettiin laskelmilla. Salaojasysteemiä koskeva 2-ulotteinen reuna-arvo-ongelma ratkaistiin suorakaiteen muotoisia elementtejä käyttäen. Menetelmää käytettiin maan kosteuden ja pohjaveden korkeuden ennustamiseen sateisena aikana, jolloin koemaat olivat paisuneessa tilassa ja veden haihtuminen maasta oletettiin nollaksi. Menetelmässä otetaan huomioon K-arvon vaihtelu eri maakerroksissa ja kaivannon täytemateriaalissa ja myös eri maakerrosten erilainen kyky pidättää vettä kapillaaripotentialin vaihdellessa 0:sta - -100 cm:iin. Laskennassa ei otettu huomioon maan pinnan kaltevuutta, pintavesien esiintymistä eikä syksyn yöpakkasten vaikutusta maaveden liikkeisiin.

Tulosten mukaan noin 10 cm:n sorakerros salaojaputken päällä on täysin riittävä. Kerroksen kasvattaminen 20 cm:iin ei tehostanut lainkaan ojien toimintaa. Kaivuuleveyden suurentaminen noin 17 cm:stä 27 cm:iin ei nopeuttanut märän maan kuivumista. Kaivuuleveys- ja sorastamiskoelohkolla esiintyi syksyisin runsaasti pinta-

vettä. Laskennan mukaan kaivannon täyttäminen hyvin läpäisevällä materiaalilla olisi tehokkaasti vähentänyt pintavesiongelmia. Dispergointikokeen mukaan sään salliessa kannattaa kuivattaa jäykkä kaivuunmaa ilmakeivaksi ennen takaisin täyttöä. Kuivattaminen stabiloi jäykän savimaan rakennetta.

Täydennysojituskokeen mukaan uusien imuojien kaivaminen vanhojen väliin ja liittäminen vanhaan kokoojajajaan on tehokas tapa parantaa ojaston toimivuutta.

Sorasilmäkekokeen mukaan sorasilmäkkeiden vaikutus ojien tehokkuuteen on vähäinen. Kokeesta tehty lieronreikälaskennat osoittavat lierojen viihtyvän jäykässä savimaassa parhaiten salaojien läheisyydessä. Hakekokeessa pohjamaalla oli parempi vedenläpäisykyky kuin muissa koekentissä. Syy korkeampaan K-arvoon oli lierojen kaivatut reiät maassa. Jos pohjamaassa ei ollut lieronreikiä, oli K-arvo alle 1 cm/h. Muutama lieronreikä halkaisijalta 15 cm:n näytteessä kohotti läpäisykyvyn jopa kymmeneen cm/h. Hake ja myös kuivatettu jäykkä savi ovat hyvin toimineet kaivannon täyteaineena. Väriainehavaintojen mukaan hake johtaa keväällä hyvin sulamisvedet salaojaputkeen.

Täydennysojien täyttömateriaalikoeksissa sekä hake että pellon pinnalla kuivattu ja muhitettu jäykkää savea oleva ruokamulta ovat olleet yhtä hyviä kaivannon täyttöaineita.

Laskennan mukaan pahasti tiivistyneillä mailla 16 m:n ojaväli on liian suuri. Välin pienentäminen 10 m:iin huomattavasti tehostaa liikaveden poistoa pellostaan sateen jälkeen. Elementtilaskentaa voidaan käyttää salaojatekniikan kehittämiseen savimaalla. Laskennalla voidaan ilmeisesti korvata osa kenttäkoeksista. Koemaan läpäisykykykymittaukset osoittavat, että aikaisemmin liika kosteuden vaivaamissa maissa K-arvo pienenee jyrkästi mentäessä kyntökerroksen alapuolelle. Suuret erot savimaan eri kerrosten läpäisykyvyissä ja suurten huokosten määrässä puoltavat elementtimenetelmän käyttöä salaojajärjestelmän reuna-arvo-ongelman ratkaisemisessa.

## JOHDANTO

Maaperäfyysikaalisen tutkimuksen päämääränä Suomessa ei ole entisessä määrin satotason kohottaminen. Tavoitteena on lähinnä satovaihteluiden pienentäminen, pellon teknisen toimivuuden parantaminen ja maataloudesta aiheutuvien ympäristöhaittojen eliminoiminen. Tärkeimpiä syitä satovaihteluihin Suomessa on peltomaan liiallinen kuivuus tai kosteus. Maan liika märkyys ei tuota haittaa ainoastaan estämällä kasvien hapen saantia ja lisäämällä kasvinravinteiden poistumista peltomaasta. Pellon hidas kuivuminen vaikeuttaa kevättöitä, sadon korjuuta ja syyskyntöä. Maan märkyys pahentaa raskaiden koneiden maata tiivistävää vaikutusta.

Salaojituksen tavoite on johtaa liikavedet pois pellolta. Aikaisemmin on salaojitusta käsitelty omana alueena erillään maan hoidosta ja viljelytekniikasta. Tämä on näkynyt salaojatutkimuksen ongelman asettelussa. On pyritty löytämään kenttäkokeiden avulla sopivat ojaetäisyydet ja -syvyydet eri maalajeille. Myös materiaalitutkimus on ollut tärkeällä sijalla.

Tilakoon kasvaessa ja koneiden painon noustessa on salaojien toimiminen liittynyt yhä kiinteämmin maaperäfyysikan muuhun osaan. Salaojan toimintahäiriöt voivat johtua viljelytekniikasta. Raskaat koneet ja yksipuolinen viljely pienentävät suurten huokosten määrää maassa ja maan kykyä läpäistä vettä. Toisaalta salaojien toiminnan heikkeneminen johtaa maan prosesseihin, jotka huonontavat sen rakennetta ja vedenläpäisykykyä. Viljelijä joutuu maan hoidossa helposti epäedulliseen kierteeseen. Käytännön viljelyssä tämä on todettu erityisesti Etelä-Suomen jäykillä savimailla sekä tasaisilla runsaasti hiesua sisältävillä mailla. Savimaissa oja-  
tojen ikä saattaa olla jo kymmeniä vuosia. Turvemaissa on esiintynyt runsaasti ongelmia uusissakin ojastoissa.

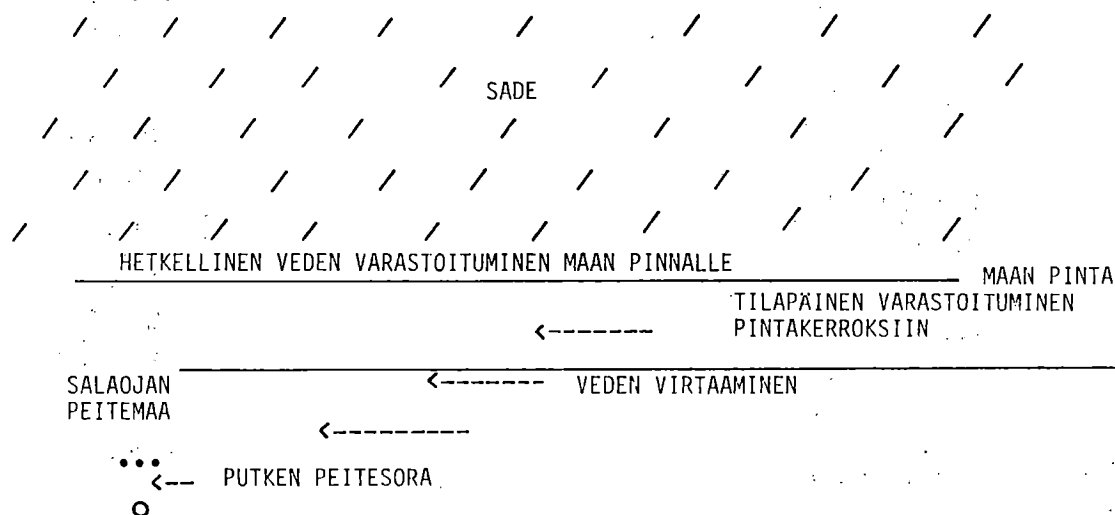
Pitkän tauon jälkeen salaojatutkimus on alkanut elpyä maassamme 80-luvun puolivälissä. Syynä tähän on pellon fyysikaalisen toiminnan ratkaiseva merkitys nykyaikaisessa viljelyssä. Tutkimuksen suuntautumiseen on vaikuttanut Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitoksen selvitys "Salaojien toimintahäiriöt"

(PUUSTINEN ja PEHKONEN 1986). Suomessa tehdystä salaojatutkimuksesta on laadittu perusteellinen kirjallisuusselvitys VIRTASEN, SAAVALAISEN ja MARTTUSEN (1988) toimesta. Metodisesti suurta askelta eteenpäin Suomessa merkitsi KARVOSEN (1988) väitöskirja "A Model for Predicting the Effect of Drainage on Soil Moisture, Soil Temperature and Crop Yield". Koska voimavaramme Suomessa eivät riitä laajaan kenttäkoetoimintaan, voidaan mallintamisen avulla yleistää muutamista kenttäkokeista saadut tulokset, mikäli koemaan profiilitutkimus on tehty riittävän tarkasti.

Maatalouden tutkimuskeskuksessa aloitettiin kokeellinen salaojatutkimus kesällä 1985. Koska Etelä-Suomi on tärkein viljelyalueemme, ensimmäiset tutkimukset tehtiin Jokioisissa jäykällä savimailla. Myöhemmin tutkimusta on laajennettu koskemaan turvemaiden salaojitusta. Tässä tiedotteessa tulokset ovat savimaiden kokeista. Tutkimuksessa on erityisesti selvitetty, minkä vuoksi salaojat kuivattavat savimaan liian hitaasti ja miten salaojien toimivuutta voidaan parantaa. Peltosysteemistä ei saada riittävän tarkkaa kuvaa vertailemalla pelkästään maan kuivumista eri ojitusmenetelmien välillä. Tämän vuoksi on erityistä huomiota kiinnitetty koemaiden profiilien ominaisuuksien selvittämiseen sekä johdopäätösten tekemiseen laskelmien avulla. Kenttämittauksia ja profiilitutkimusta tehtiin kokeen tärkeyden mukaisesti. Tulosten perusteella on perustettu uusia koekenttiä. Tässä tiedotteessa tulokset ovat koekentistä, joiden ojastojen toiminta mittausten perusteella jo hyvin tunnetaan.

#### A. VEDEN PÄÄSY SALAOJAAN

Kriittisin ajankohta salaojaston toiminnassa on yleensä kevät tai syksy, jolloin savimaa kosteana on paisuneessa tilassa ja maan vedenläpäisykyvyllä on pienin arvo. Aikaisin keväällä ja syksyllä haihdunta on vähäistä. Häiriöt salaojaston toiminnassa esiintyvät lähinnä keväisin ja syksyisin. Oheisessa kuvassa on kaavamaisesti



Kuva 1. Sadeveden liikkuminen salaojaan.

esitetty, kuinka sadevesi virtaa maassa salaojaan. Jos runsaan sateen aikana vesi painuu maahan hitaasti, kertyy vapaata vettä maan pinnalle. Maan pinnan ollessa kalteva pintavesi alkaa virrata, jolloin peltolohkon notkelmiin kertyy vesilammikoita. Pintavesivirtaukset aiheuttavat helposti eroosiota, koska maan huokosten seinämät eivät hidasta kitkan avulla virtausta. Veden infiltraatio ennestään kosteaan maahan riippuu lähinnä maan pintakerrosten vedenläpäisykyvystä. Veden liikkumisnopeus maan sisällä riippuu maakerrosten vedenläpäisykyvystä. Jos pohjamaan läpäisykyky on pieni, virtaa vesi runsaan sateen aikana suureksi osaksi pintakerroksissa ojaan päin. Tällöin salaojan peitemateriaalin läpäisykyky vaikuttaa ratkaisevasti veden pääsyyn salaojaputkeen. Peitesora helpottaa veden virtausta putkeen. Tärkeä merkitys on putken saumojen tai reikien pysymisellä auki.

Maahan sataneen veden liikkuminen savimaassa salaojiin kestää yleensä useita vuorokausia. Kostean maan tulisi pystyä varastoimaan tilapäisesti kymmeniä millimetrejä sadevettä. Jos kostealla maalla ei ole tätä varastoimiskykyä, sadevettä kertyy helposti maan pinnalle. Kostean maan vedenvarastoimiskykyä mitataan määrittämällä maasta suuret huokokset,  $\phi > 0.03$  mm tai hyvin suuret huokokset,  $\phi > 0.3$  mm.



## B. KOEJÄRJESTELY

### 1. Kenttäkokeet

Kartat kenttäkokeista ovat liitekuivissa 1 - 5. Koeluettelo koejärjestyksineen on seuraava:

#### 1. Salaojan kaivuuleveys- ja sorastuskoe

- a. Leveä (n. 27 cm) kaivuu Ukkomaralla, soraa n. 10 cm
- b. Kapea (n. 17 cm) kaivuu Mara-ketjukoneella, sorastus n. 10 cm
- c. Kapea (n. 17 cm) kaivuu Mara-ketjukoneella, tehostettu sorastus n. 20 cm

Koe perustettiin märissä olosuhteissa keväällä -84 ennen kevätviljan kylvöä. Salaojien ja entisten avo-ojien risteyksiin tehtiin sorasilmäkkeet. Imuojien väli on 16 m. Koe sijaitsee yksityisellä tilalla. Koealueella on salaojituksen jälkeen viljelty kevätiljaa ja rypsiä.

#### 2. Sorasilmäkekoe

- a. Ei sorasilmäkkeitä, sorastus 10 cm
- b. Sorasilmäkkeitä salaojakaivantoon 10 m:n välein

Silmäkkeen muoto kolmiomainen, kärki kyntökerroksen pohjan korkeudella, kanta kaivannon pohjalla noin 2 m, sorastus putken päällä 10 cm.

- c. Pitkiä sorasilmäkkeitä salaojakaivantoon 10 m:n välein

Silmäkkeen pituus kyntökerroksen pohjan korkeudella 1 m ja salaojakaivannon pohjalla 3 m. Putken päällä soraa muualla kaivannossa 5 cm.

Koe perustettiin v. -86 kuivissa olosuhteissa. Kaivuunmaa voitiin täysin kuivattaa ennen kaivannon uudelleen täyttöö. Pellon tasaus voitiin tehdä kuivissa olosuhteissa. Ojaväli on 16 m. Ojituksen jälkeen lohkolla on viljelty AIV-rehua. Kesällä -87 lohkon pintamaa tiivistyi epäedullisten korjuuolosuhteiden takia pahoin. Koe sijaitsee Jokioisten kartanon mailla.

### 3. Entisen salaojituksen tehostaminen

#### a. Entinen salaojitus

b. Aikaisemmin kaivettujen imuojien toimintaa tehostetaan sorasilmäkkeiden avulla. Imuojien peitemaahan tehtiin sorasilmäkkeet käyttäen Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitoksella rakennettua kairaa, joka sovitetaan traktorin nostolaitteeseen (PUUSTINEN, VARIS ja LUOMA 1987). Kairan kierteen halkaisija on 35 cm.

c. Salaojastoa täydennetään kaivamalla lisää imuojia

Koe perustettiin Jokioisten kartanoon v. -86. Kaivuolosuhteet olivat kosteat. Kaivannon täytemaata ei voitu kuivattaa. Tämän vuoksi kaivanto uusissa imuojissa täytettiin pintamaalla, joka oli multamaata. Entisen ojituksen ojaväli on 21 m. Koelohkolla on kokeen perustamisen jälkeen viljelty kevätiljaa.

### 4. Hakeojitus

a. Normaali kaivannon täyttö kaivuumaalla, 10 cm:n sorastus

b. Täyttö kyntökerrokseen saakka lehtipuuhakkeella, 10 cm:n sorastus

Koe perustettiin Jokioisten kartanoon v. -87. Koemaa oli pahoin tiivistynyttä aitosavea. Aikaisempi ojitus 50-luvulta ei toiminut juuri lainkaan, minkä vuoksi peltolohko ojitettiin kokonaan uudestaan. Pienenkin sateen jälkeen kertyi maan pinnalle vettä. Ojityön aikana saatiin runsaasti sadekuuroja, mutta kaivuunmaa onnistuttiin ennen takaisin täyttöö kuivattamaan täysin. Jäykän savimaan reunat sortuivat ennen kaivannon täyttöö sadekuurojen ansiosta, koska kaivuunmaan kuivumista odoteltiin useita viikkoja.

Tällöin kaivannon reunamiin muodostui kuitenkin runsaasti stabiileja kuivumishalkeamia. Ojaväli on 16 m. Ojituksen jälkeen koe-lohkolla on viljelty viljaa.

## 5. Täydennysojien täyttömateriaalikoe

- a. Täydennysojien kaivannon täyttö kuivatetulla pintamaalla, joka on urpasavea. Sorastus 10 cm.
- b. Täydennysojien kaivannon täyttö kyntökerrokseen saakka lehtipuuhakkeella.

Koe perustettiin yksityiselle tilalle v.-87. Olosuhteet olivat kosteat, mutta pintamaatäytteen oli jo annettu kuivua ja muhia aikaisempina vuosina. Entisen ojituksen ojaväli on 16 m. Kasvina lohkokolla oli kokeen perustamisesta lähtien kevätilja.

## 2. Koemaat

Koemaiden maalaji määritettiin 3-4 profiilista kenttäkoetta kohden. Samoista profiileista mitattiin pH maa-vesilietoksesta 1:2.5, C-pitoisuus SIPPOLAN (1982) esittämällä tavalla ja hiukkaskokojakautuma ELOSEN (1971) kehittämällä menetelmällä.

Taulukko 1. Koemaiden orgaanisen hiilen pitoisuus, pH ja hiukkaskokojakautuma.

Syvyys cm	C %	pH	Sa	Hs	Ht + karkeammat
-----					
Salaojan kaivuuleveys- ja sorastuskoe					
0 - 20	4.7	5.8	73.3	12.6	14.1
10 - 40	1.6	6.2	81.1	8.3	10.6
40 - 60	0.7	6.7	82.1	7.4	10.5
60 - 80	0.5	6.8	78.6	6.9	14.5
80 - 100	0.5	6.9	78.8	7.1	14.1
Sorasilmäkekoe					
0 - 20	11.6	5.8	76.8	13.2	10.0
20 - 40	3.6	5.9	76.2	11.6	12.2
40 - 60	1.1	6.3	84.6	8.0	7.4
60 - 80	0.8	6.4	91.0	5.1	3.9
80 - 100	0.8	6.4	91.6	5.3	3.1

Syvyys cm	C %	pH	Sa	Hs	Ht + karkeammat
-----------	-----	----	----	----	-----------------

Entisen salaojituksen tehostaminen

0 - 20	14.9	5.9	85.6	10.2	4.3
20 - 40	6.9	5.9	85.2	9.6	5.2
40 - 60	1.6	6.2	81.4	11.4	7.3
60 - 80	1.1	6.3	77.8	12.6	9.6
80 - 100	1.1	6.2	79.3	11.5	9.2

Hakeojitus

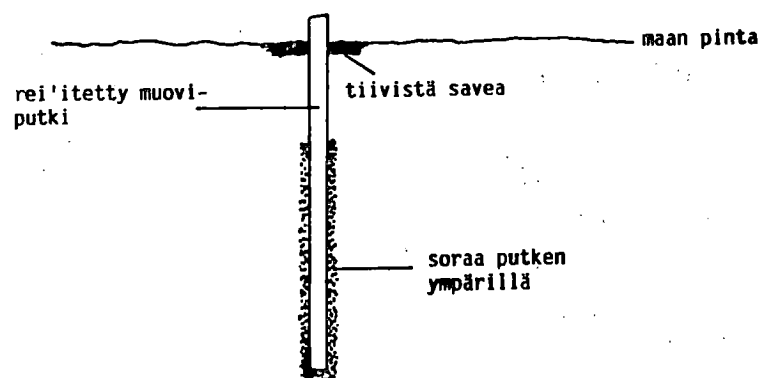
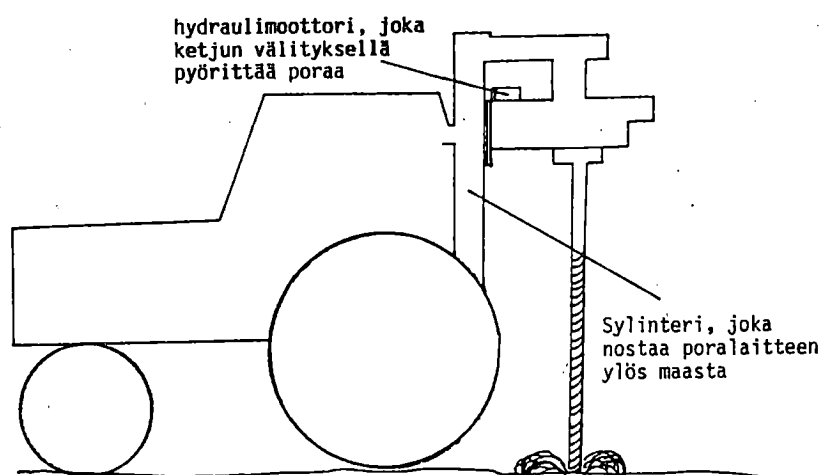
0 - 20	4.5	6.1	65.8	14.9	19.3
20 - 40	2.5	5.8	69.3	14.0	16.7
40 - 60	0.6	5.8	79.4	9.1	11.5
60 - 80	0.4	6.3	84.2	7.4	8.4
80 - 100	0.3	6.3	91.6	3.8	4.6

Täydennysojien täyttömateriaalikoe

0 - 20	6.5	5.1	80.9	7.6	11.5
20 - 40	2.4	5.1	88.5	4.8	6.7
40 - 60	0.9	5.2	91.9	3.9	4.2
60 - 80	0.5	5.4	92.7	3.7	3.7
80 - 100	0.4	5.6	93.7	3.2	3.1

### 3. Pohjaveden korkeuden mittaus

Salaojien toimivuutta seurattiin pohjavesimittausten avulla. Menetelmä on halpa ja yksinkertainen. Savimaassa suuret huokokset ovat halkeamia, lierojen kaivamia reikiä ja juurikanavia. Näissä huokosissa vesi on lähes sitoutumatonta, minkä vuoksi pohjaveden pinta savimaassa erottuu selvästi. Pohjaveden korkeus mitattiin pohjavesiputkien avulla. Putkien sijoittelu koekentille käy esille liitekuvista 1 - 5. Muovisten pohjavesiputkien pituus oli vähintään 110 cm ja läpimitta sisäpinnoista mitattuna 17, 30 tai 45 mm. Koska reiän poraaminen Etelä-Suomen jäykkiin savimaihin on hidasta, tehtiin kolot maahan käsikairan lisäksi myös traktorikäyttöisellä kairalla kuvassa 2 esitetyllä tavalla. Samasta kuvasta käy selville putken asennus jäykkään savimaahan. Veden pinnan korkeus pohjavesiputkessa mitattiin merkkivalolla varustetulla mittakepillä.



Kuva 2. Reiän poraaminen traktorikäyttöisen kairan avulla ja pohjavesiputken upotus maahan

#### 4. Salaojien toiminnan ennustaminen maaprofiilien ominaisuuksien avulla

Peltosysteemin monimutkaisen rakenteen vuoksi ojaston teoreettinen hallinta tuottaa vaikeuksia erityisesti hienojakoisilla mailla. Kuitenkin tarvitaan mahdollisimman tarkkaa kuvailua ojasysteemin toiminnasta, jotta voitaisiin ymmärtää, minkä vuoksi ojasto ei toimi tyydyttävällä tavalla. Tarkasteltavaa tilannetta voidaan idealisoida tekemällä yksinkertaistavia oletuksia ja tutkimalla, johtaako pelkistetty malli samoihin tuloksiin kuin ko-

keelliset mittaukset. Tässä tutkimuksessa on oletettu tavalliseen tapaan veden virtauksen noudattavan Darcyn lakia (esim. HILLEL 1982 s. 114):

$$q = -K(h) \nabla H \quad (1)$$

sekä sovellettu jatkuvuuslakia

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \nabla \cdot (K(h) \nabla H) \quad (2)$$

joissa

$w$	=	maan vesipitoisuus $\text{cm}^3/\text{cm}^3$
$H$	=	$h + z$ cm
$h$	=	kapillaaripotentiali cm
$z$	=	korkeuskoordinaatin avulla ilmaistu gravitaatiopotentiali cm
$q$	=	veden virtausnopeus maassa cm/h
$K(h)$	=	veden potentialista riippuva hydraulisen johtavuuden kerroin cm/h
$t$	=	aika h

Merkitään

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{d w}{d h} \frac{\partial h}{\partial t} = C(h) \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3)$$

Yllä olevien yhtälöiden (2) ja (3) mukaisesti salaojasysteemiä koskevan reuna-arvot tehtävän ratkaisemiseksi tarvitaan tiedot  $K$ :n arvoista eri maaveden potentialeissa. Vedenpidätyskapasiteetti  $C(h)$  saadaan derivoimalla maan vedenpidätyskäyrä.

Jäykässä savimaassa suurimpien huokosten, kuten lieronreikien ja halkeamien alhainen tiheys aiheuttaa vaikeuksia Darcyn lain soveltamisessa. Jos sade kastelee kuivaa savipeltoa, virtaa vesi syvempiin kerroksiin ensin suurimpia huokosia pitkin ja näistä huokosista edelleen pienempiin huokosiin eri maakerroksissa. Kostean maan kuivuessa voi veden kaasumainen liike suurimmissa huokosissa tehokkaasti kuivattaa suurimpien huokosten seinämiä. Lisäksi

savimaa kutistuu ja paisuu kuivumisen ja kostumisen aikana. Tällaisissa tilanteissa ei Darcyn lakia voida yksinkertaisella tavalla soveltaa maan vesitalouteen (HEINONEN 1985, JARVIS ja LEEDS-HARRISON 1987, TOWNER 1989). Joudutaan erikseen tarkastelemaan veden liikkumista suurimmissa huokosissa ja muussa osassa maata.

Tilanne on kuitenkin paljon yksinkertaisempi, jos olosuhteet ovat jatkuvasti kosteat. Pienimmät maan huokokset ovat aina veden kylästämiä. Veden tasapainottuminen eri maakerrosten suurissa huokosissa on nopeaa. Kosteissa oloissa voidaan tyytyä soveltamaan Darcyn lakia yksinkertaisella tavalla käyttäen yhtälöitä (2) ja (3).

Laitoksellamme tehtyjen väriainemittausten mukaan vesi liikkuu paisuneessa savimaassa lähinnä halkeamissa, lierojen tekemissä rei'issä ja juurikanavissa. Mikroskooppitarkasteluissa todettiin, että paisuneessa savimaassa halkeamat johtavat vettä ruokamultakerroksessa ja jossain määrin jankossakin, mutta syvemmissä kerroksissa (40-50 cm:stä alaspäin) vesi kulkee lähinnä juurikanavaverkostossa, joka oli havaintojen mukaan olemassa kaikkien kenttien pohjamaissa. Jankon alapuolella voi esiintyä tiheästi halkeamia, mutta ne ovat märässä maassa lähes täysin kiinni. Aikaisin keväällä ja syksyllä, kun sää on pilvinen, on haihtuminen maan pinnasta vähäistä. Tarkastelua helpottaa havainto, että uusissa 80-luvulla tehdyissä ojastoissa salaojaputken peitesora ei ole savimaassa runsaankaan sateen jälkeen kyllästetty vedellä, vaikka ympärillä olevat maan huokokset on täynnä vettä.

Voidaan siis savimaan uusien ojien kohdalla olettaa, että veden paine ympäryssorassa on sama kuin ilmassa. Nopeasti vettä johtavien halkeamien ja lieronreikien pieni tiheys maassa ei välttämättä tee differentiaalilaskennan menetelmiä käyttökelvottomiksi. Voidaanhan differentiaaliyhtälöt ratkaista likimääräisesti olettamalla maan koostuvan vesiputkiverkostosta, jossa kukin putki aiheuttaa oman vastuksensa vedelle. Pysyvät halkeamat ja lieronreiät hankaloittavat teoreettista tarkastelua lähinnä tekemällä maan hyvin heterogeeniseksi, jolloin läpäisykykymittauksille saadaan suuri hajonta. Juurikanavaverkosto pohjamaassa voi olla yllättävän homogeeninen. Mittauksia helpotti se, että liikaveden vaivaamissa

koemaissa esiintyi lieroja ennen ojitusta hyvin vähän. Vaikka kentän saman maakerroksen näytteiden välillä oli suuriakin suhteellisia eroja läpäisykyvyssä, olivat erot eri maakerrosten välillä suhteellisesti paljon suurempia. Keskimääräiset eri maakerrosten läpäisevyydet näyttivät säätelevän salaojan toimintaa, minkä vuoksi heterogeenisyyttä vaakasuorassa suunnassa ei otettu huomioon. Myöskään ei laskettu koemaiden lievän kaltevuuden vaikutusta.

Koska teoreettisessa tarkastelussa joudutaan tekemään lukuisia yksinkertaistavia olettamuksia, laskennan pätevyyden mitaksi jää teorian ennustuskyky. Laskennan teoreettista arvoa lisää se, että ennusteiden tekemiseen käytetyt maan ominaisuutta kuvaavat arvot on saatu mitatuksi riippumattomina ennusteen tuottamista arvoista.

Osittaisdifferentiaaliyhtälön (3) likimääräinen ratkaisu etsittiin elementtimenetelmää (esim. PINDER ja GRAY 1977, WANG ja ANDERSON 1982) käyttäen. Osittain on noudatettu NEUMANin ym. (1975) sekä ZARADNYn ja FEDDESin (1979) tapaa ratkaista maan salaojasysteemiä koskeva reuna-arvo-ongelma. Edellisistä poiketen käytettiin kolmioelementtien sijasta suorakaiteen muotoisia elementtejä.

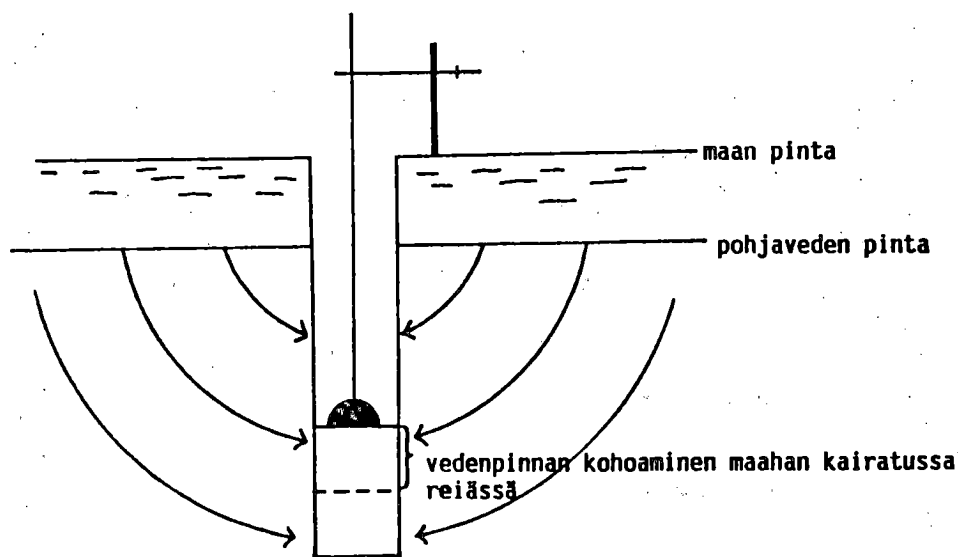
Kosteissa oloissa suurten huokosten tilavuudella on suuri merkitys äkillisten sateiden veden varastoimisessa. Tämän vuoksi K-arvon lisäksi kullekin elementille määriteltiin oma C-arvo eli vedenpidätyskapasiteetti. Jos osa tarkasteltua aluetta maasta oli veden kyllästämä, ovat NEUMAN ym. (1975) muuttaneet ajasta  $t$  riippuvan systeemin laskemiseen tarkoitettua differenssiyhtälöä (liite 1) yhtälö (25) kyllästetyllä alueelle. Tällaiseen menettelyyn ei kuitenkaan katsottu olevan aihetta ja elementtilaskenta tehtiin liitteessä 1 esitetyllä tavalla.

## 5. Läpäisykyvyn mittaukset ja suurten huokosten määrittäminen

Maan vedenläpäisykyky mitattiin kentällä "Auger Hole" -menetelmällä (kuva 3). Maahan kairatussa kolossa ( $\varnothing = 8$  cm) seurataan uimurin avulla veden pinnan kohoamista ajan funktiona. Läpäisykyky saadaan ERNSTin (1950) nomogrammeista tai käyttämällä BOASTin ja KIRKHAMin (1971) laskemaa taulukkoa. Usein pohjaveden pinta oli kuitenkin niin alhaalla, että mittaus perinteisellä "Auger Hole"



-menetelmällä oli mahdotonta. Aluksi kokeiltiin ns. Guelphin permeametriä (REYNOLDS et. al. 1983), jossa maahan porattuun reikään lisätään vettä jatkuvasti siten, että veden pinta kolossa pysyy vakiona. Mittaustulokset olivat kuitenkin epämääräisiä johtuen ehkä tehdyn kolon pienestä läpimitasta,  $\phi = 4$  cm tai laskentakäytöjen soveltumattomuudesta savimaalle. Tämän vuoksi pohjaveden pinnan yläpuolella läpäisykyky mitattiin käänteisellä "Auger Hole"-menetelmällä. Vettä lisättiin kairattuun reikään ( $\phi = 8$  cm) ja uimurin avulla seurattiin veden imeytymistä maahan. Imeytys tehtiin esikostutettuun maahan, jolloin veden potentiaali maassa oli noin -10 cm ja suurimmat huokokset,  $\phi > 0.3$  mm, olivat ilman täyttämiä.



Kuva 3. Maan vedenpääsykyvyn mittaaminen "Auger Hole"-menetelmällä.

Käänteisessä "Auger Hole"-menetelmässä K-arvon laskeminen tuottaa vaikeuksia. Yksinkertaiseen laskentamenetelmään päädytään (SMEDEMA ja RYCROFT 1983 s. 354), jos oletetaan, että veden virtaaminen q kolosta maahan on suoraan verrannollinen maan K-arvoon cm/h:

$$q = K A \text{ cm}^3/h$$

missä  $A =$  veden täyttämä osa kolon seinämästä  $\text{cm}^2$

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

$r =$  kairatun reiän säde 4 cm

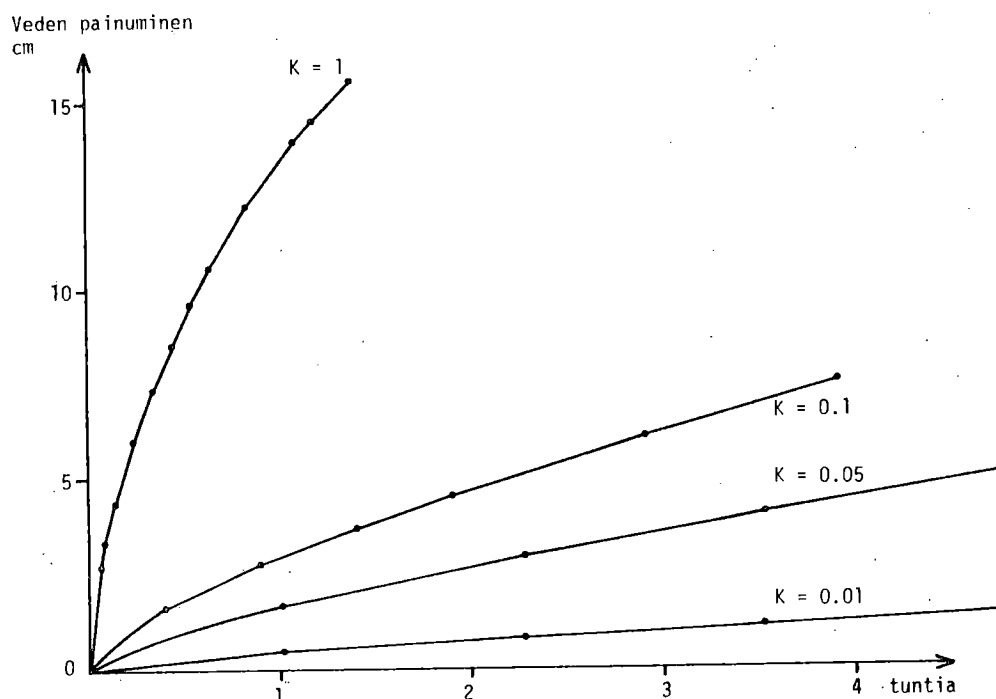
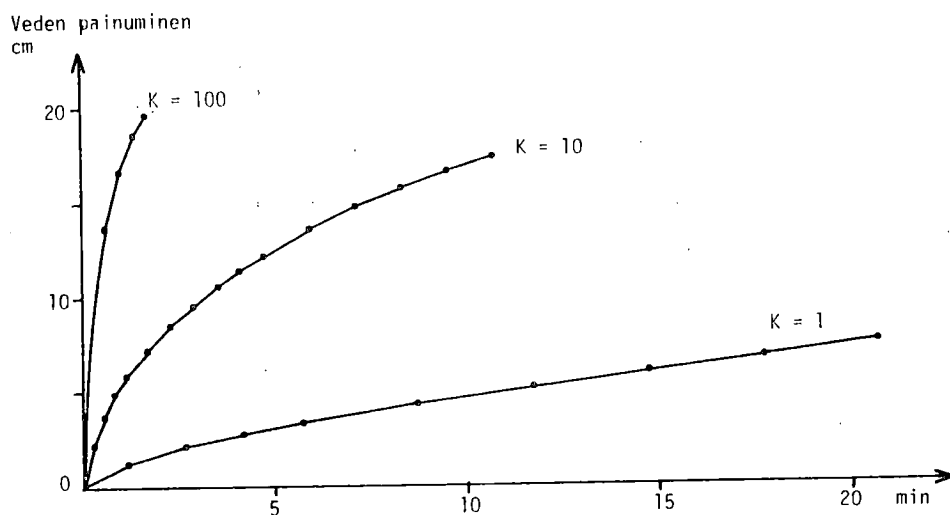
$L =$  etäisyys kolon pohjasta veden pintaan cm

$$\text{vastaavasti } q = -\pi r^2 \frac{dL}{dt} \quad (5)$$

missä  $dH/dt$  osoittaa veden pinnan alenemista aikayksikössä cm/h. Merkitsemällä yhtälöt (4) ja (5) yhtäsuuriksi ja integroimalla saadaan kaava:

$$K = \frac{1.15 r (\log(L_0 + r/2) - \log(L_t + r/2))}{t} \quad (6)$$

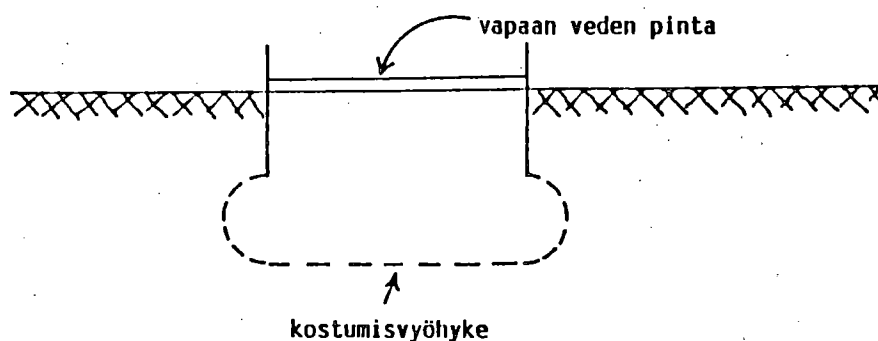
Kaavan (6) käyttökelpoisuutta tutkittiin vertaamalla saatuja läpäisykykyjä muilla mittausmenetelmillä saatuihin tuloksiin ja myös elementtilaskentaa käyttäen. Elementtimenetelmä on esitetty liitteessä 3. Elementtimenetelmällä laskettu vedenpinnan aleneminen kairatussa kolossa on esitetty kuvassa 4. Tulosten mukaan kaava (6) antaisi tulokseksi 1.5 - 2-kertaisen tuloksen oikeaan verrattuna. Kuitenkaan kaavalla (6) saatuja K-arvoja ei korjattu.



Kuva 4. Veden pinnan painuminen käänteisessä "Auger Hole" -menetelmässä elementtilaskennan mukaan.

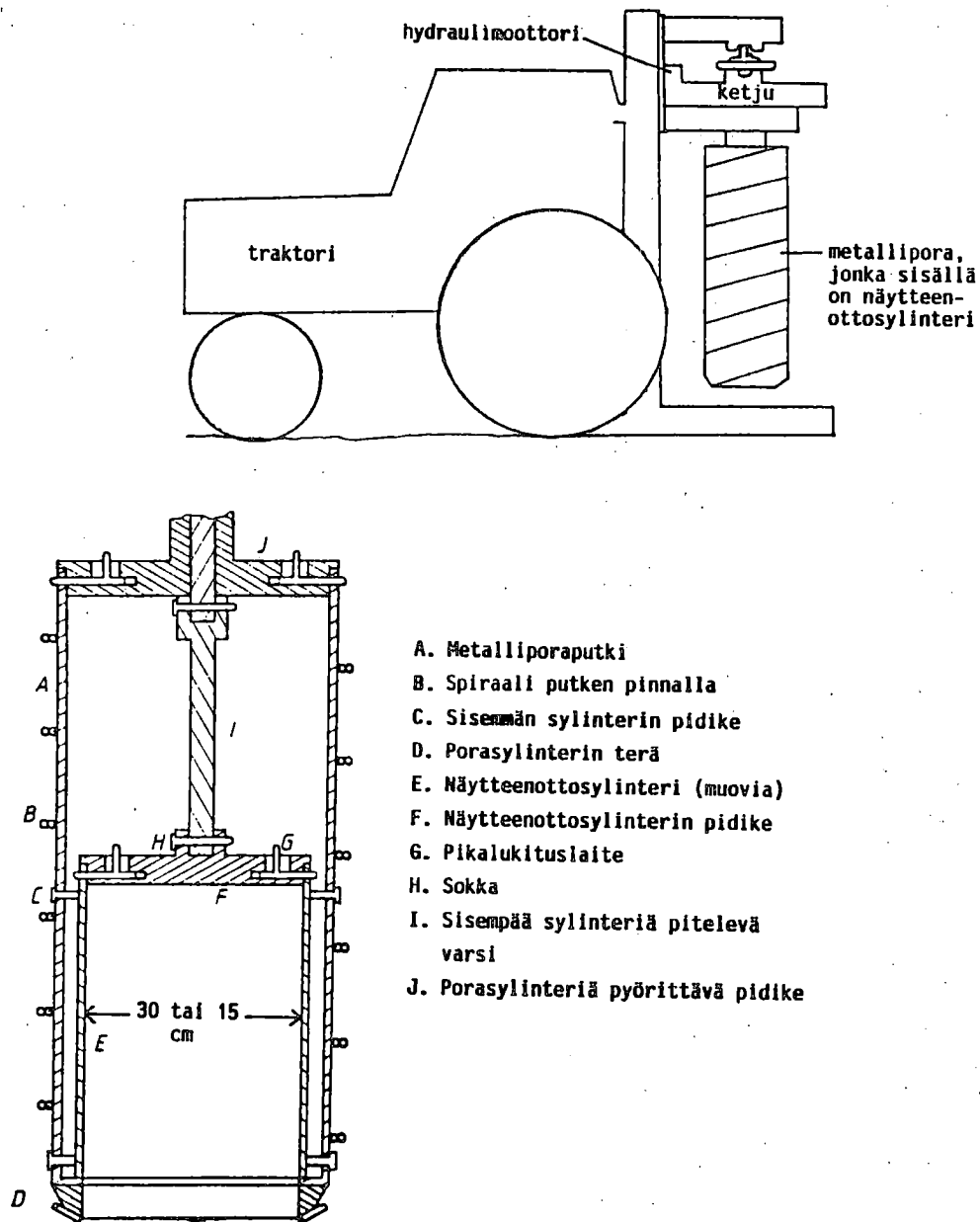
Mittaustuloksiin vaikuttavat monet tekijät, kuten esimerkiksi huokosten leikkautuminen kiinni kolon seinämissä kairauksen aikana ja kolon pohjan liettyminen. Kolomenetelmä soveltui huonosti kyntökerroksen vedenläpäisykyvyn mittaamiseen. Monissa MTTK:n maaperäfyysiikkaa koskevissa kenttäkokeissa on alettu mitata kyntökerroksen läpäisykykyä infiltrometrin avulla olettaen potentiaa-

ligradientiksi vedellä kyllästetyssä maassa 1 cm/cm. Täydennysojituksen täyttömateriaalikokeessa kyntökerroksen K-arvo mitattiin 30 cm:n läpimittaisilla infiltrometrirenkailla (kuva 5).



Kuva 5. Kyntökerroksen läpäisykyvyn mittaaminen infiltrometrillä

Suomen lyhyt kesä rajoittaa työskentelyä koekentällä. Suuri osa mittauksista tehtiin talven aikana laboratoriossa. Erityistä huomiota kiinnitettiin näytteiden ottoon fysikaalista mittausta varten. Ruotsista hankittu näytteenottolaite on esitetty kuvassa 6. Maaporana toimii metallisylinteri, jonka ulkopintaan on hitsattu metallispiraali. Porasyntlerin sisäpuolella on muovinen näytteenottosylinteri, jonka läpimitta on 15 cm. Muovisylinterin pituus on 60 cm. Yhden näytteen ottoon jäykästä savimaasta kuluu aikaa 15 - 30 minuuttia. Jos haluttiin tutkia eri maakerrosten ominaisuuksia, leikattiin alkuperäisestä näytteestä lyhyempiä sylintereitä. Näytteet otettiin keväisin ja syksyisin kosteasta maasta. Ennen määrittämiä kuivattiin puhaltimen avulla hiukan näytteen pohjaa ja pintaa ja huokoset avattiin pienen pölyimurin avulla.

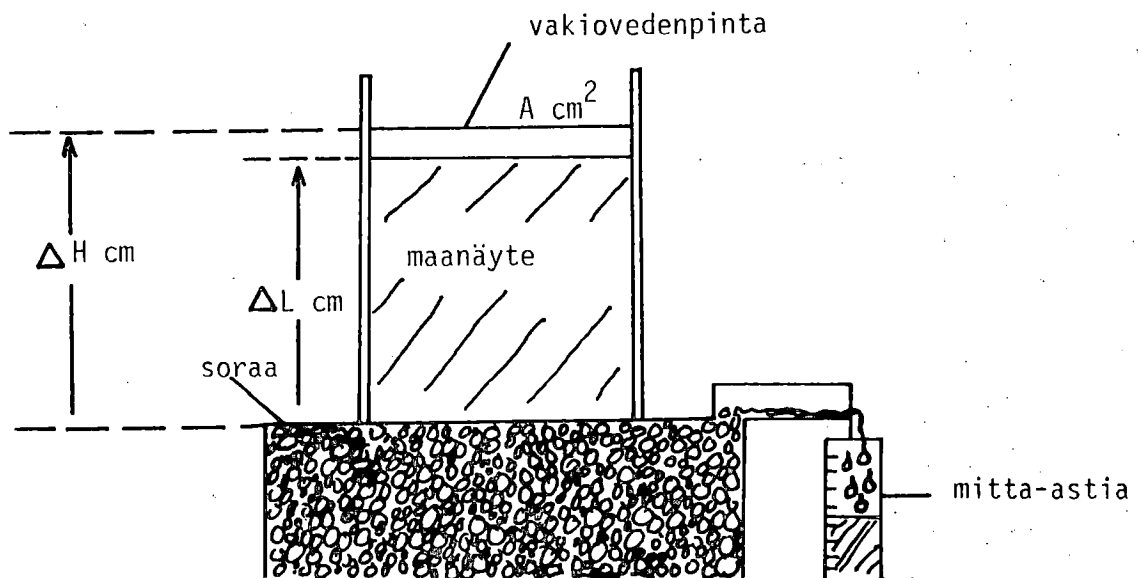


Kuva 6. Laite maanäytteiden ottoon fysikaalisia mittauksia varten.

Tutkimuksen alkuvaiheessa ei tukkiutuneita huokosia avattu riittävä tarkoin, jolloin sylinterinäytteille mitattiin liian pieni K-arvo. Toisaalta kairausmenetelmä ei soveltunut ruokamultakerroksen läpäisykyvyn mittaukseen, koska kairausmenetelmä mittaa myös kolon alapuolella olevan maan läpäisykykyä. Muissa omissa

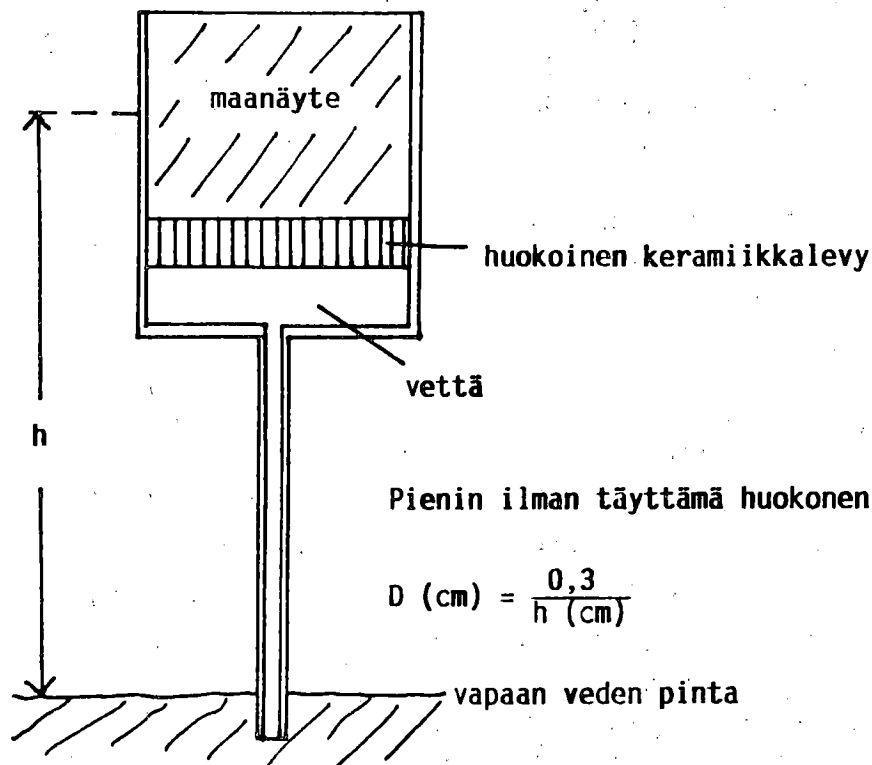
tutkimuksissa on todettu, että kairausmenetelmä antaa liian pienen K-arvon, mikäli maan vedenläpäisykyky on hyvä eli K on yli 10 cm/h. Laskelmissa käytettiin ruokamultakerroksen K-arvoina laboratorioissa tai kentällä infiltrometrillä saatuja tuloksia. Syvempien kerroksien K-arvoina oli "Auger Hole" -menetelmällä saadut, mikäli tätä menetelmää oli käytetty. Jos kuitenkin salaojakaivannon peitemaan K-arvo oli korkea, käytettiin kaivannon läpäisykykynä sylinterinäytteistä mitattuja arvoja.

Toisinaan maan ja sylinterin seinämän väli jouduttiin tiivistämään kovettuvan polyuretaanivaahdon avulla. Aina määritettiin näytteille vedenläpäisykyky ja suurimmat huokokset  $\varnothing > 0.3$  mm käyttäen veden potentiaalia -10 cm (kuvat 7 ja 8). Näytteiden suuresta koosta johtuen 0.3 mm pienempiä huokosia määritettiin vain sorasilmäkekeen ja hakekekeen yhteensä 20 näytteelle. Määrittäjäpotentiaalit olivat -10, -40 ja -100 cm vastaten huokoskokoja 0.3, 0.075 ja 0.03 mm. Millimetriasteikolla varustetun mitan avulla ei maanäytteiden kokonaistilavuuden todettu muuttuvan potentiaalinvälillä 0 - -100 cm.



Kuva 7. Lämpäisykyvyn mittaaminen laboratorioissa. Maan kyllästys vedellä alapäin ennen mittausta.

$$K = \frac{q \cdot \Delta L}{A \cdot \Delta H}$$

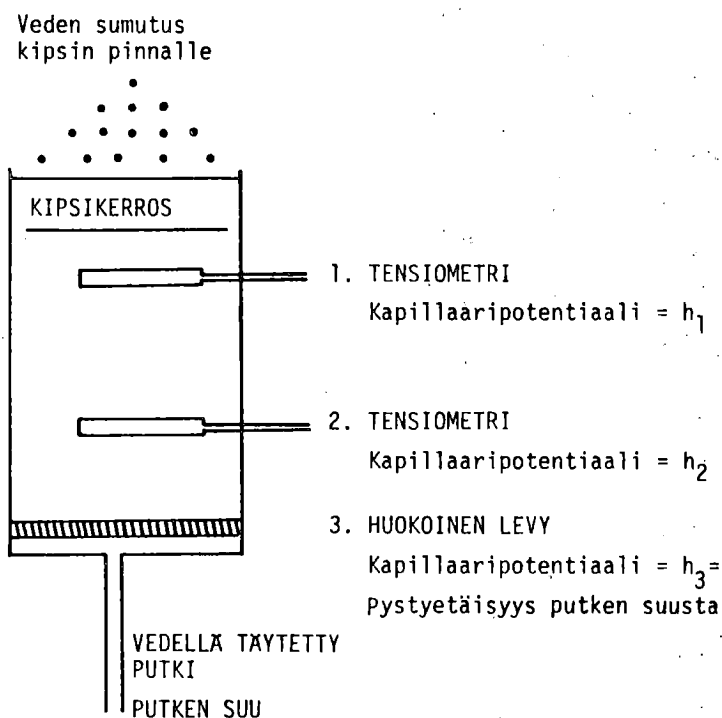


Kuva 8. Suurten huokosten määrittäminen keramiikkalevyn avulla. Maan ilmatila = alunperin kyllästetystä maasta poistunut vesimäärä.

Ennenkuin sadevesi liikkuu maassa pohjaveteen, veden liike tapahtuu kyllästämättömässä maassa. Kostean kyllästämättömän maan vedenjohtokyky määritettiin kuvan 9 mukaisesti käyttäen yksikkögradienttimenetelmää. Profiilinäytteet oli katkaistu noin 20 cm:n pituisiksi. Maan pinta peitettiin huokoiseksi levyksi kovettuvalla kipsikerroksella. Kipsilevyyn sumutettiin vettä siten, että molemmat tensiometrit näyttivät samaa kapillaaripotentiaalin arvoa. Pystyettäisyys ulosvuotoputken suusta maanäytteen pohjaan säädettiin senttimetreinä samaksi kuin tensiometrien potentiaalilukema cm:nä. Tällöin kapillaaripotentiaalit paikoissa 1, 2 ja 3 olivat yhtäsuuria eli

$$h_1 = h_2 = h_3 \quad (7)$$

Kun veden valuminen putken suusta saavutti tasaisen nopeuden, mitattiin aikayksikössä ulos tullut vesimäärä punnitsemalla tai vaakasuoraan asennetun mittapipetin avulla. Yhden näytteen mittaukset veivät aikaa useita viikkoja. Suurin osa ajasta kului halutun potentiaalin saavuttamiseen näytteessä. Vedenjohtokyky kyllästämättömälle maalle määritettiin vain 5 viidestä näytteestä, jotka oli otettu sorasilmäkekoesta.



Kuva 9. Vedenjohtokyvyn määrittäminen kyllästämättömälle maalle kapillaaripotentialin välillä 0 - -100 cm.

## 6. Muut määritykset

Hakekokeessa seurattiin veden liikkeitä syksyn ja kevään aikana erythrosine nimisen punaisen elintarvikeväriaineen avulla. Koemaa-  
han upotettiin noin 5 cm:n syvyyteen 30 cm:n läpimittainen sylinteri ja väriaine sijoitettiin sylinterin sisäpuolelle maan pinnalle. Väriaineen kulkeutumista seurattiin kaivaen varovasti maata sylinterin ympäriltä halutun ajanjakson kuluttua.

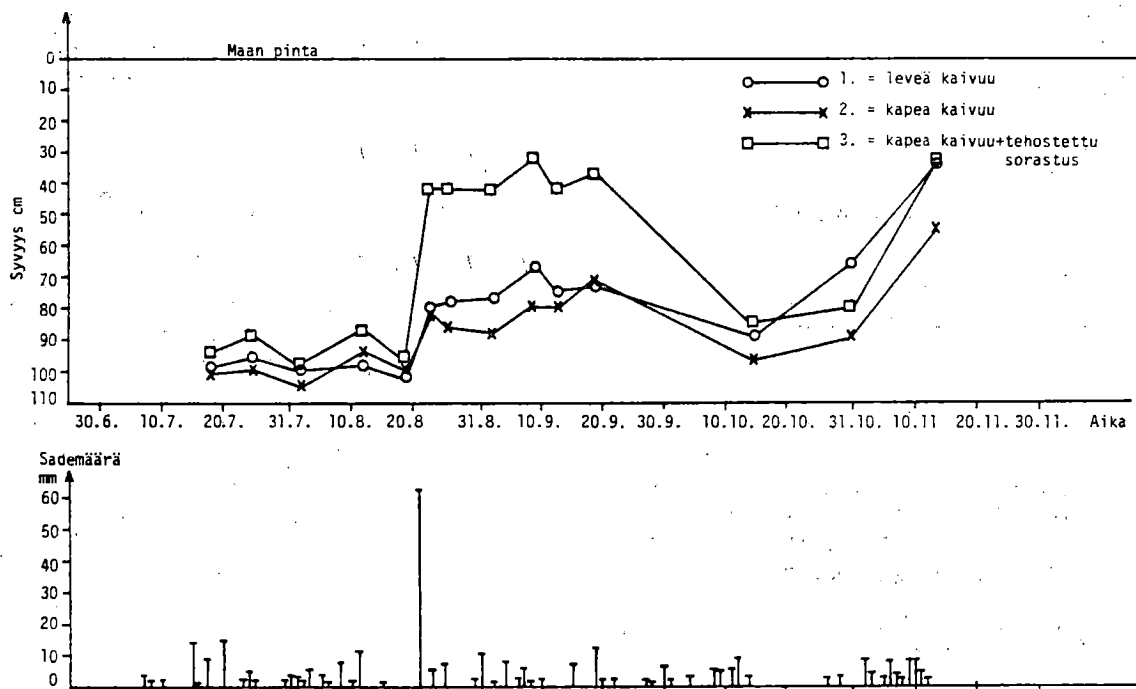


Ilmakuivatuksen vaikutusta kaivuumaan rakenteen stabiilisuuteen tutkittiin kaivuuleveys- ja sorastuskokeesta ja sorasilmäkeko-keesta otettujen näytteiden avulla. Luonnonkosteet näytteet otettiin kummaltakin koekentältä alkukesän aikana eri syvyyksistä. Näytteet säilytettiin + 3 C läpötilassa muutaman kuukauden ajan ennen stabiilisuuden määrittystä. Osa luonnonkosteaa näytettä kuivattiin parin päivän ajan ilmakuivaksi. Tämän jälkeen pantiin 10 g luonnonkosteaa ja ilmakuivaa maata mekaanista maa-analyysiä varten tehtyihin lasisylintereihin, jotka oli täytetty tislattulla vedellä. Maat pidettiin vedessä viikon ajan, jonka jälkeen tehtiin maa-vesi suspensio kääntämällä käsin sylinterit ylösalaisin 50 kertaa. Hiukkaskokojakautuma määritettiin pipetoimalla (ELONEN 1971) ilman kemiallista esikäsitteilyä ja vahvaa mekaanista sekoitusta.

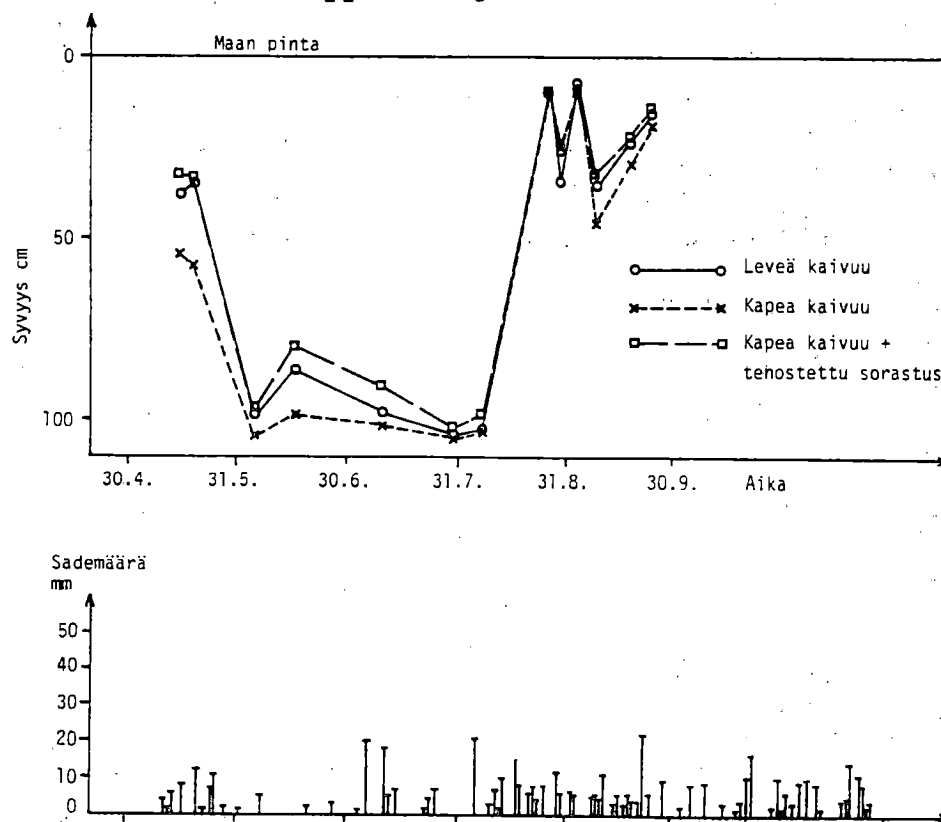
## C. TULOKSET

### 1. Salaojan kaivuuleveys- ja sorastuskoe

Imuojavälin keskeltä mitattujen pohjavesikorkeuksien keskiarvot on esitetty kuvissa 10 ja 11. Vuonna -85 kesällä kuivunut maa kostui vähitellen loppukesän aikana. Tämän vuoksi tuloksissa oli tavattoman suuri hajonta, koska sadevesi valui kuivana aikana syntyneitä halkeamia pitkin maan sisään. Vuonna -86 mittaustulosten hajonta oli paljon pienempi. Kaksinkertaisesta ympärysainesoran käytöstä ei mittausten mukaan ole ollut hyötyä. Kaivannon leventäminen ei tehostanut ojien toimintaa.



Kuva 10. Pohjaveden korkeudet kaivuuleveys- ja sorastuskokeessa 1985. Etäisyys imuojasta 8 m.



Kuva 11. Pohjaveden korkeudet kaivuuleveys- ja sorastuskokeessa 1986. Etäisyys imuojasta 8 m.

Syksyllä -86 tasaisten sateiden aikana ojasto ei pystynyt poistamaan maahan satanutta vettä koekentältä, vaan vettä kertyi lammikkoina maan pinnalle ja virtasi myöhään syksyllä kyntövakoja pitkin kentän laidalle. Sama toistui myöhempinä syksyinä 1987 ja 1988. Kun syyssateet olivat kostuttaneet kentän täysin, pellon pinnalla makasi vettä maan jäätymiseen saakka (kuva 12).

Läpäisykyky- ja huokosmittausten tulokset koekentästä ovat liitetaulukkoissa 1a - 1c. Keskimääräiset tulokset ovat taulukossa 2. Määritettäessä kairausmenetelmällä läpäisykyky 60 - 100 cm:n kerroksesta tehtiin 8 mittausta pohjaveden pinnan yläpuolella ja 4 mittausta alapuolella. Käänteinen "Auger Hole"-menetelmä antoi keskimääräiseksi läpäisykyvyksi 0.068 cm/h ja jälkimmäinen menetelmä 0.047 cm/h.

Taulukko 2. Salaojan kaivuuleveys- ja sorastuskokeen keskimääräiset K-arvot ja huokosten  $\phi > 0.3$  mm tilavuudet.

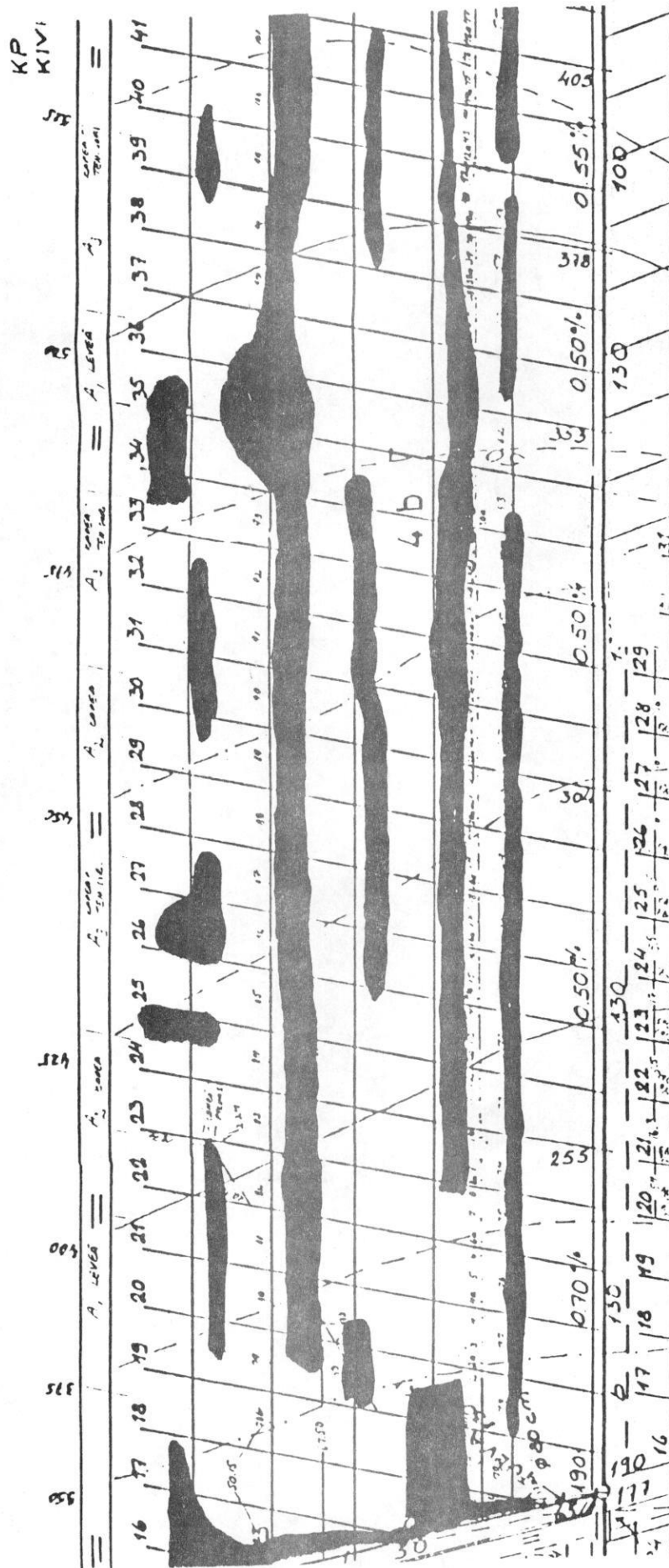
#### Laboratoriomittaukset

Kaivanto			Etäisyys imuojasta 8 m	
Syvyys cm	K cm/h	Huok.til.-%	K cm/h	Huok.til.-%
1 - 15	78.1	8.1	90.8	8.5
15 - 35	0.55	2.3	0.055	1.4
35 - 55	0.10	1.3	0.017	1.3

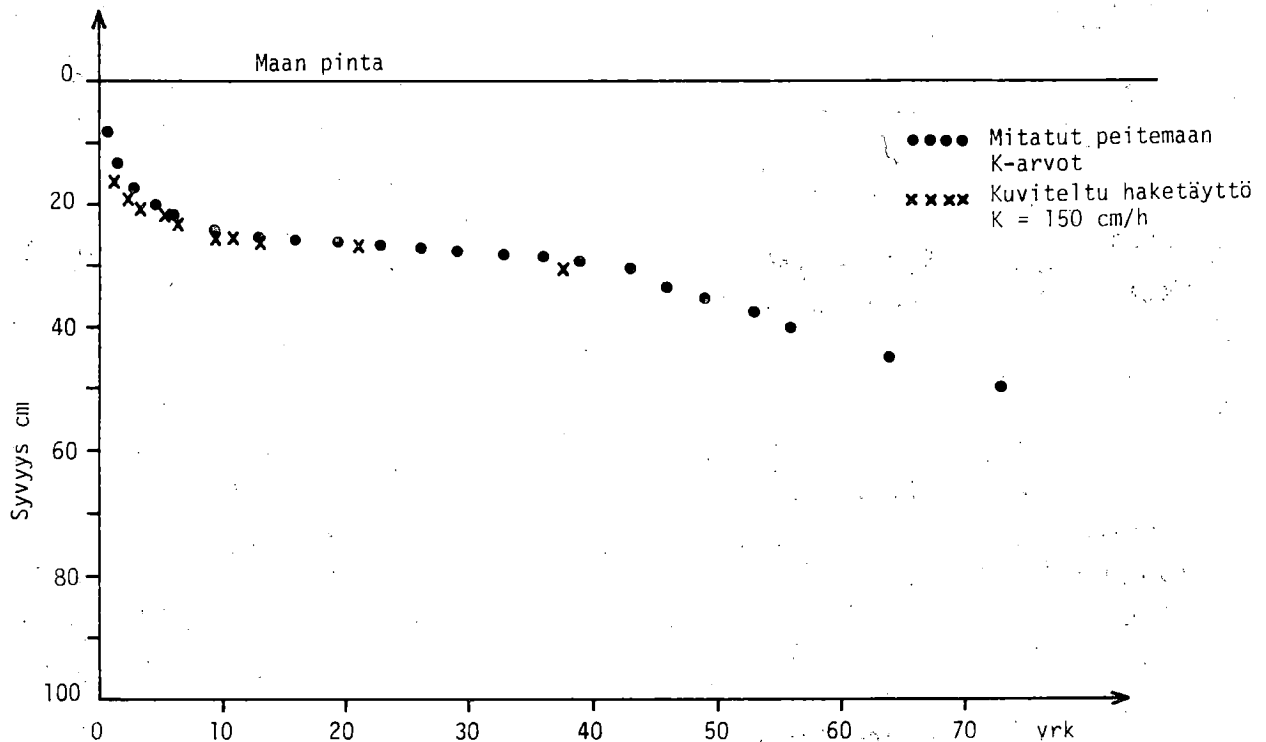
#### Kairausmenetelmä

Kaivanto		Etäisyys imuojasta 8 m	
Syvyys cm	K cm/h	Syvyys cm/h	K cm/h
20 - 40	0.73	20 - 40	0.042
40 - 70	1.12	40 - 60	0.028
		60 - 100	0.061
		100 - 200	0.0092

Myös laskelmien mukaan salaojien toiminta oli hidasta. Laskennassa käytettiin taulukon 10 läpäisy- ja vedenpidätyskyvyn arvoja. Osittain on taulukossa otettu huomioon, että kairausmenetelmässä mitataan myös kolon alla olevan maakerroksen läpäisykykyä.

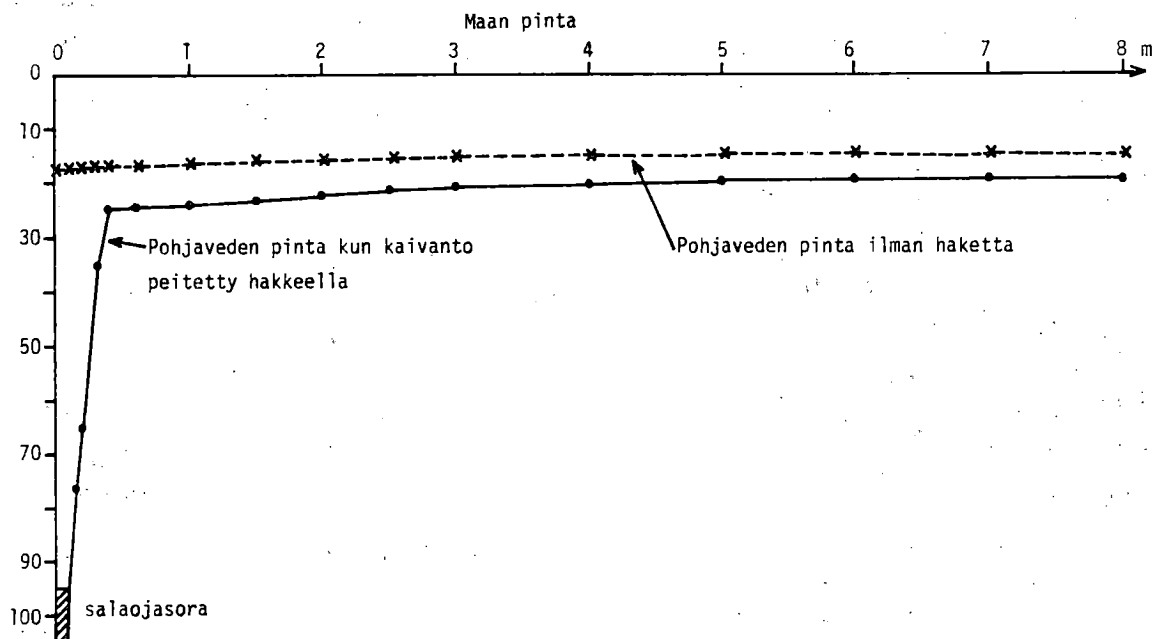


Kuva 12. Pintalätäköiden esiintyminen 20.10.1987 kaivuuleveys- ja sorastuskokeessa.



Kuva 13. Kaivuuleveys- ja sorastuskoe. Täysin kyllästetyn maan laskettu kuivuminen. Pohjaveden korkeus 8 m:n etäisyydellä imuojasta.

Kuvan 13 mukaan täysin kyllästetty maa kuivuu aluksi nopeasti, mutta kyntökerroksen alapuolelle pohjaveden pinta laskeutuu hyvin hitaasti. Haketäyttö ei tulosten mukaan juuri kuivumista nopeuta. Sen sijaan haketäyttö estää laskelmien perusteella tehokkaasti irtoveden kasautumista notkelmiin, jos useana päivänä perätysten vesisateet ovat runsaita. Jos jatkuvasti saadaan vuorokaudessa 4 mm sadetta, ei salaoja kuvan 14 tulosten mukaisesti estä veden virtaamista notkelmiin. Sen sijaan haketäyttö katkaisee tehokkaasti pintavesien virtailun maan pintaosissa. Ilmeisesti tällä koekentällä imuojien väli suunniteltiin liian suureksi, 16 m:ksi.



Kuva 14. Laskemalla saatu salaojakaivannon haketäytön merkitys, kun maan ominaisuudet ovat samat kuin kaivuuleveys- ja sorastuskokeessa. Tasainen vesisade 4 mm/vrk.

Myös olisi ollut syytä harkita imuojien täyttöä pellon kosteimmis-  
sa kohdissa kyntökerrokseen saakka kokonaan joko hakkeella tai  
soralla. Kaivannon täytemaan kuivatus ennen takaisin täyttöä olisi  
ilmeisesti parantanut täytemaan läpäisykykyä. Dispergointi-  
mittausten tulokset ovat taulukossa 3. Tästä nähdään, että jäykän  
saven kuivatus ilmakeivaksi stabiloi selvästi täytemaan ra-  
kennetta. Samassa taulukossa ovat myös sorasilmäkekokeen maasta  
tehdyt dispergointimittausten tulokset.

Taulukko 3. Kuivatuksen vaikutus maan rakenteen stabiilisuuteen dispergointikokeessa.

$\varnothing < 0.02$  mm:n hiukkasia % ka:sta

Näytteenotto- syvyys cm	Luonnonkoste- näyte	Ilmakuivattu näyte
<b>Salaojan kaivuuleveys- ja sorastuskoe</b>		
10 - 20	20.1	3.9
30 - 40	35.5	3.3
70 - 80	11.9	2.9
		***
		F = 73.22
<b>Sorasilmäkekoe</b>		
10 - 20	56.6	7.4
30 - 40	54.0	9.2
70 - 80	40.2	5.5
		**
		F = 18.50

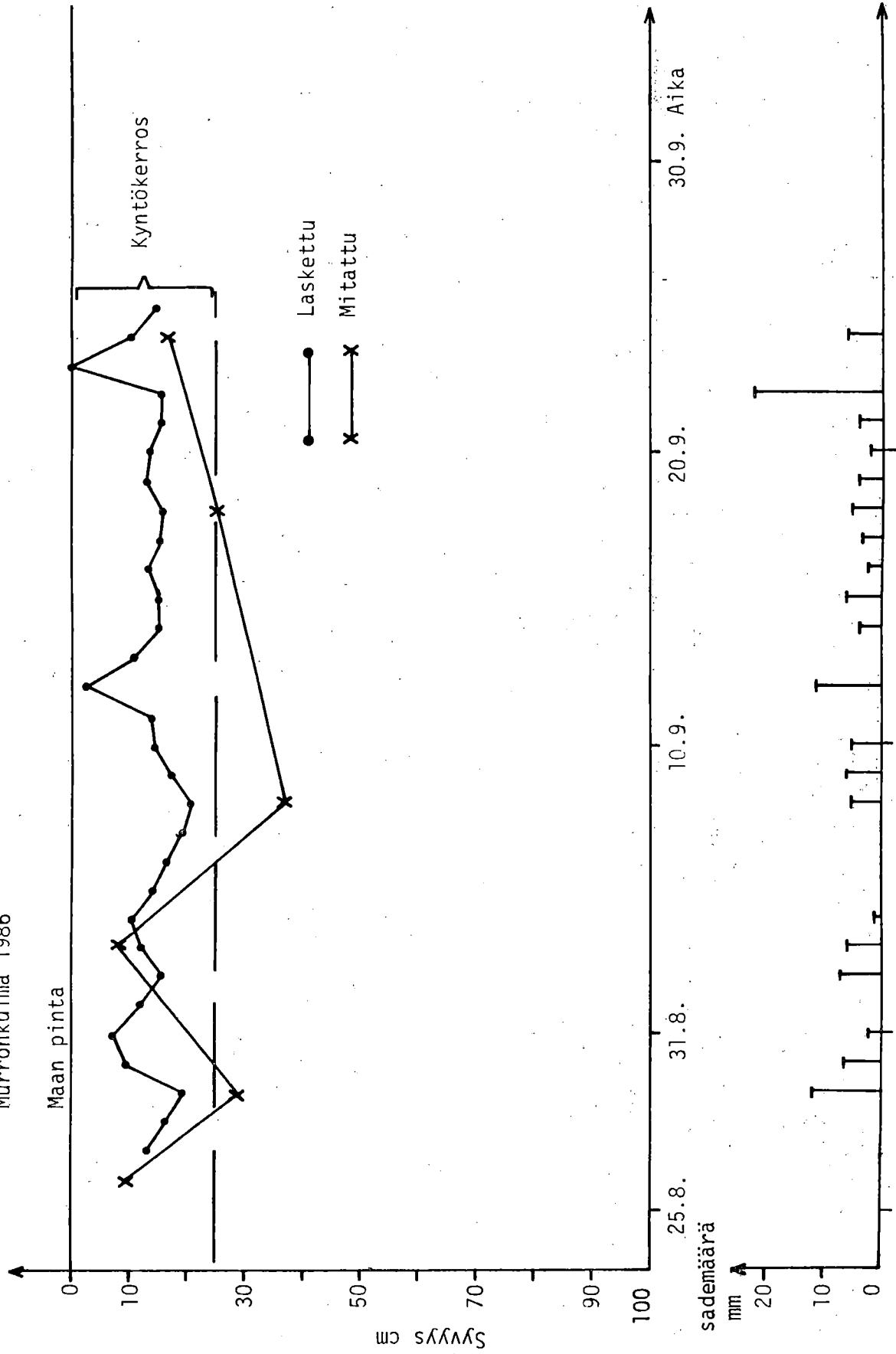
\*\* = ero hyvin merkitsevä, erehtymisen riski 1 %

\*\*\* = ero erittäin merkitsevä, erehtymisen riski 0.1 %

Syksyllä -85 ei laskettu pohjaveden korkeutta, koska koemaa kostui syksyllä -85 hitaasti ja epätasaisesti. Laskentatuloksen käyttökelpoisuutta vähentää myös lokakuun loppupuolella esiintyneet yöpakkaset, jolloin maan pinnan jäätyminen ilmeisesti aiheutti irtoveden virtaamista ylöspäin alentaen näin pohjaveden korkeutta.

Sen sijaan laskettiin pohjaveden korkeus syksyllä -86 (kuva 15). Laskenta ennustaa irtoveden runsaan esiintymisen ruokamultakerroksessa sateisen syksyn aikana. Syyskuun puolella välissä ennustettu vapaan veden pinta on kuitenkin parikymmentä cm alempi kuin mitattu. Osasyö eroon voi olla koekentän pinnan epätasaisuudessa. Koemaassa oli pitkiä entisten avo-ojien suuntaisia notkelmia, joita pitkin vesi sateisena aikana virtasi koekentän reunalle, koska kenttä oli lievästi viettävä. Laskennassa oletettiin koekentän pinnan olevan tasaisen ja kaltevuutta ei otettu lainkaan huomioon.

Murronkulma 1986



Kuva 15. Laskemalla ja mittaamalla saatu pohjaveden korkeus. Kaivuuleveys- ja sorastuskoe. Etäisyys imuojasta 8 m.



## 2. Sorasilmäkekoe

Tulokset vuosilta 1987 ja 1988 eivät osoita sorasilmäkkeiden tehostaneen ojastojen toimintaa (kuvat 16 ja 17). Lasketut pohjaveden syvyydet 4 m:n etäisyydellä imuojasta syksyllä -87 on esitetty kuvassa 18. Käytännössä koemaa on kuivunut sateiden jälkeen hiukan nopeammin kuin laskenta osoittaa. Syksyllä -88 esiintyi irtovettä monissa kohdin pellon pinnalla. Vähäinenkin kaltevuus liikuttaa maan pinnalla makaavaa vettä salaojien yli pellon laidalle. Laskelmissa oletetaan kaiken veden menevän salaojaputkien kautta pois pellostä. Laskelma syksyille -88 osoitti odotusten mukaisesti, että vettä kertyy maan pinnalle runsaan sateen jälkeen. Laskenta ei kuitenkaan ota huomioon veden varastoitumista maan pinnalle eikä veden virtaamista siinä. Tämän vuoksi laskentaa ei voitu tehdä mielekkäällä tavalla syksyille -88.

Taulukko 4. Sorasilmäkekoe. Keskimääräiset K-arvot ja huokosten  $\phi > 0.3$  mm tilavuudet.

Etäisyys imuojasta 8 m, laboratoriomenetelmä:

Syvyys cm	K cm/h	Huok.til.-%
0 - 25	64.9	8.9
25 - 35	1.74	3.9
35(25) - 55	0.212	0.90

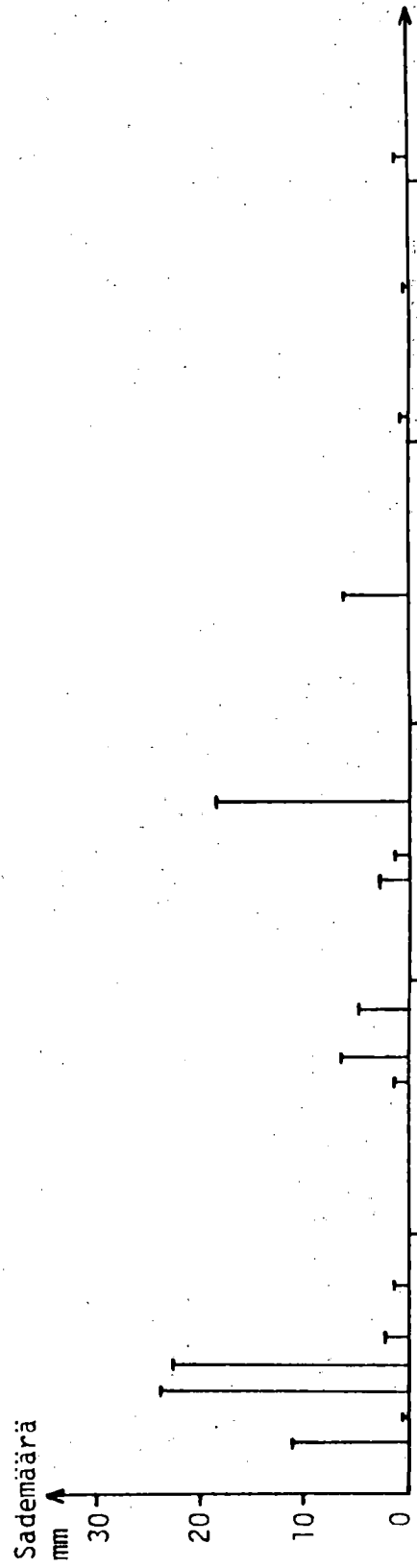
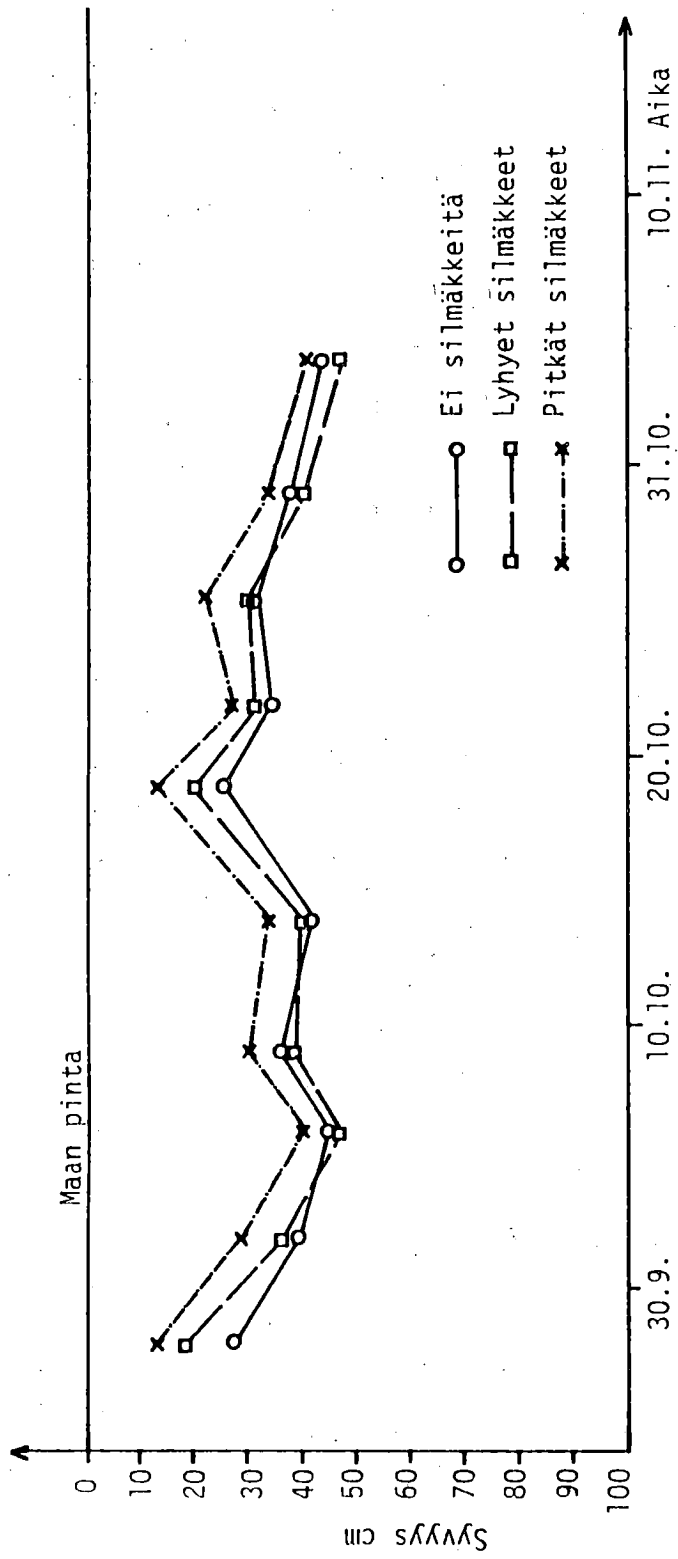
Peitemaa, laboratoriomenetelmä:

25 - 50	1.89	1.76
---------	------	------

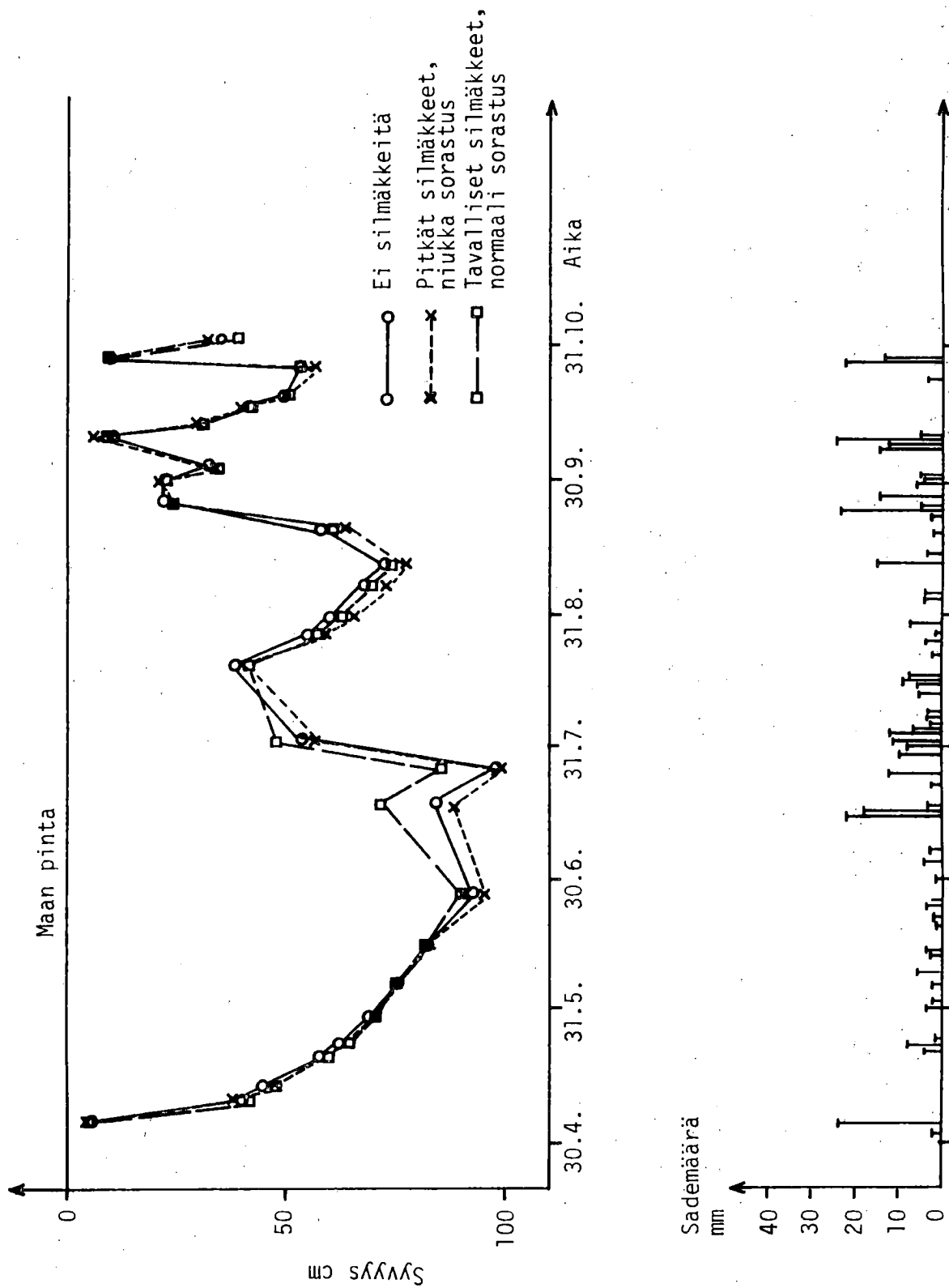
Pohjamaa, kairausmenetelmä:

100 - 200	0.016
-----------	-------

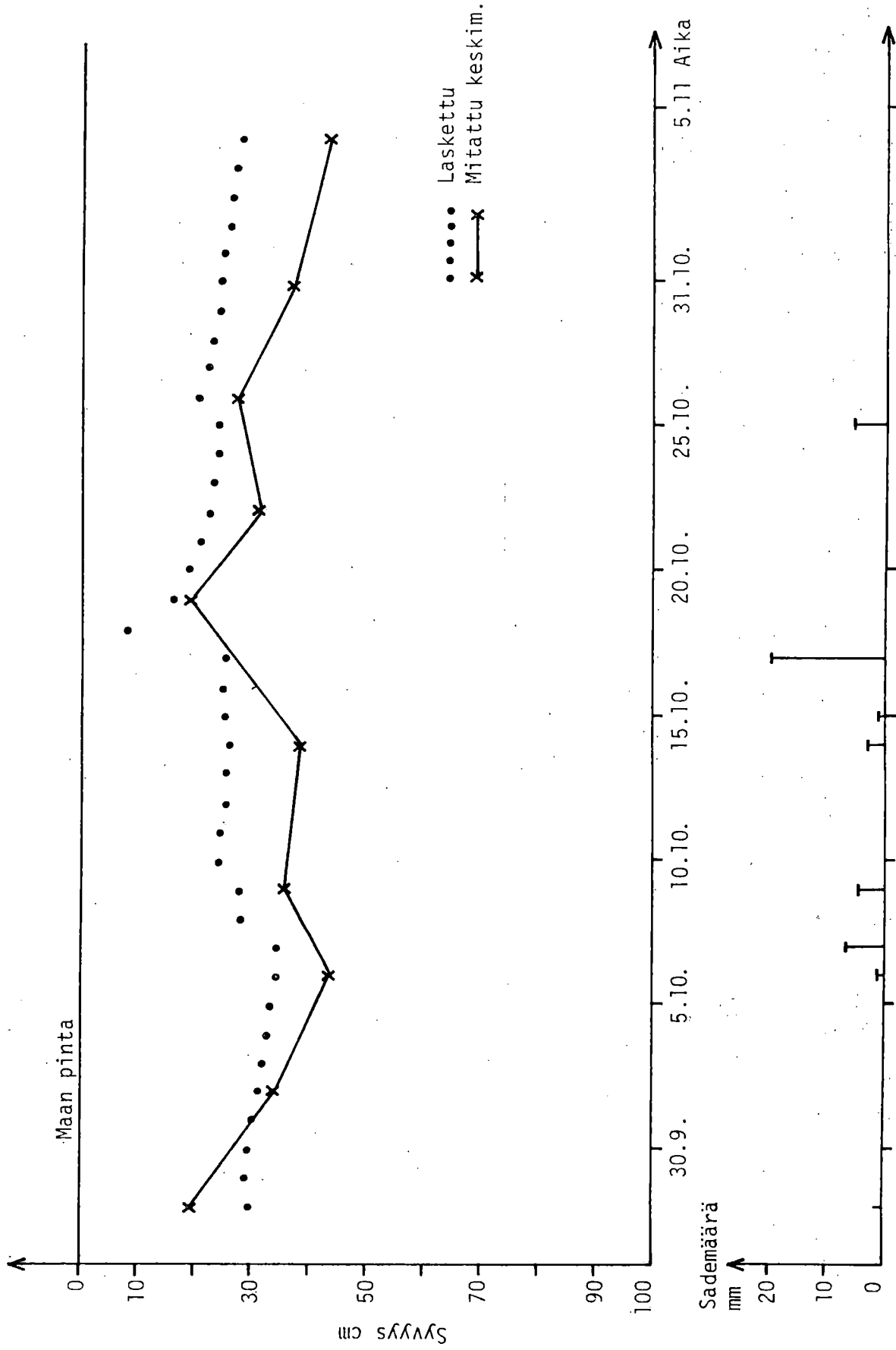
Koealueen kyntökerros on monin paikoin multamaata. Alla oleva jäykkä savi ei yleensä kuivu voimakkaasti pitkänkään poudan aikana. Lierojen aktiivisuus tällaisessa maassa vaikuttaa voimakkaan positiivisesti läpäisykykyyn. Ennen ojitusta lohkolla esiintyi runsaasti pintavettä ja todennäköisesti lieroja esiintyi vähän.



Kuva 16. Pohjaveden korkeudet sorasilmäkkekekeessa v. 1987. Etäisyys imuojasta 4 m.



Kuva 17. Pohjaveden korkeudet sorasilmäkkekekeessa v. 1988. Etäisyys imuojasta 4 m.



Kuva 18. Pohjaveden korkeus sorasilmäkekoissa syksyllä 1987. Lasketut ja mitatut arvot. Etäisyys imuojasta 4 m.

Kaksi vuotta ojituksen jälkeen laskettiin sylinterinäytteiden avulla lieronreikien tiheys pystysuorassa suunnassa 25 ja 50 cm:n syvyydessä (taulukko 5).

Huomionarvoista on lieronreikien ilmestyminen parin vuoden aikana salaojakaivannon peitemaahan. Jos peitemaan läpäisyky saadaan alunperin tyydyttäväksi, lierot voivat estää sen tiivistymisen läpäisemättömäksi. Kaivannon täyttö orgaanisella materiaalilla voi edistää lierojen toimintaa imuojan kohdalla.

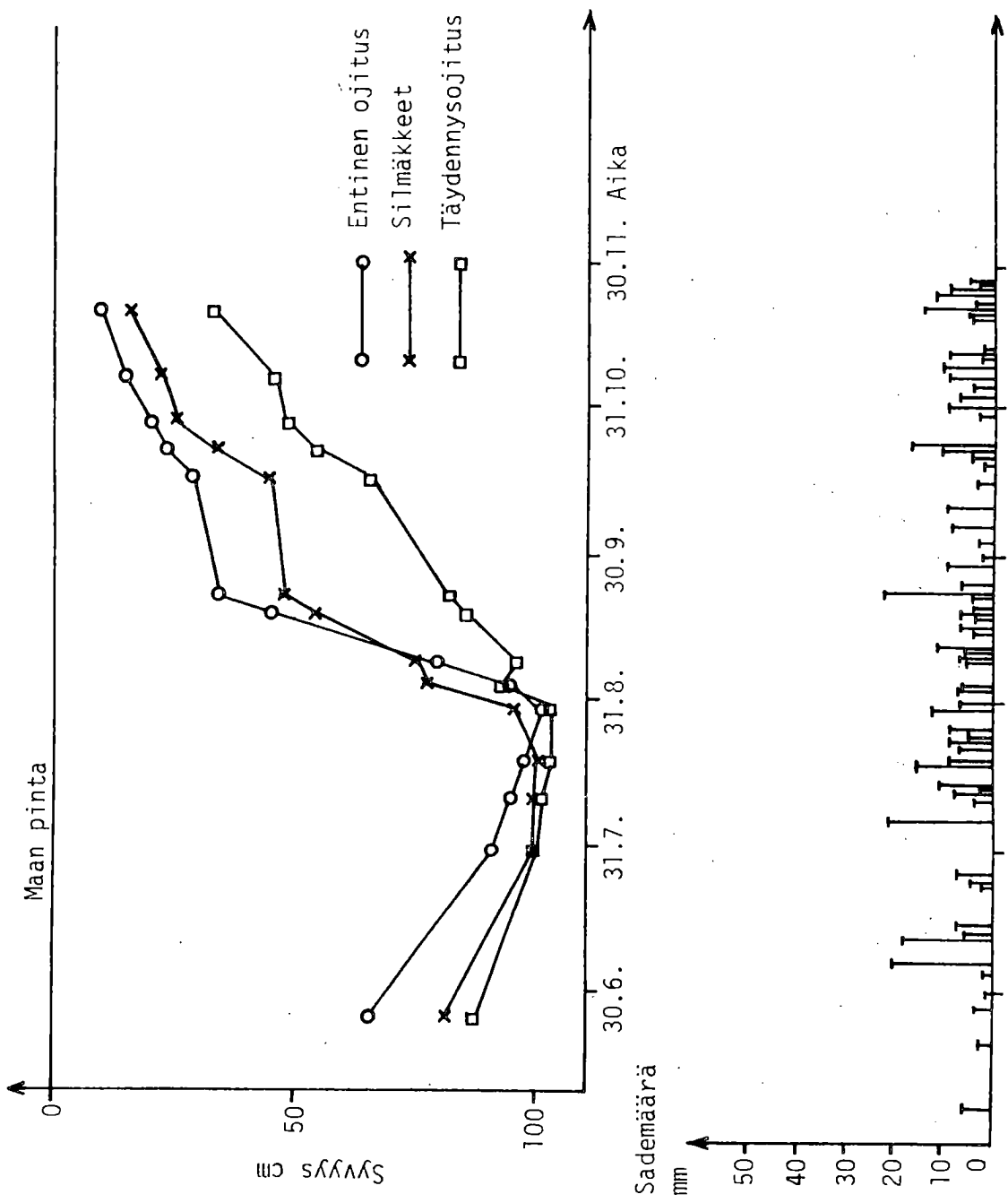
Taulukko 5. Lieronreikien tiheys pystysuorassa suunnassa kpl/dm<sup>2</sup> sorasilmäkekokeessa.

	Syvyys	
	25 cm	50 cm
Ojan kohta	3.3	2.4
Etäisyys imuojaan 8 m	1.1	0.8
	F = 6.88*	F = 11.71*

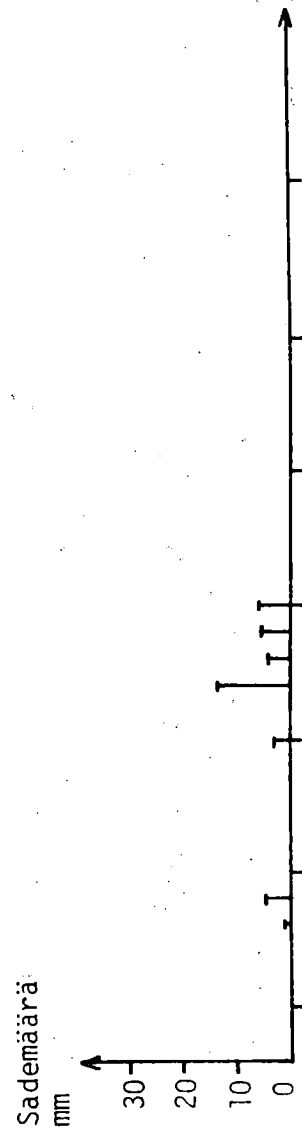
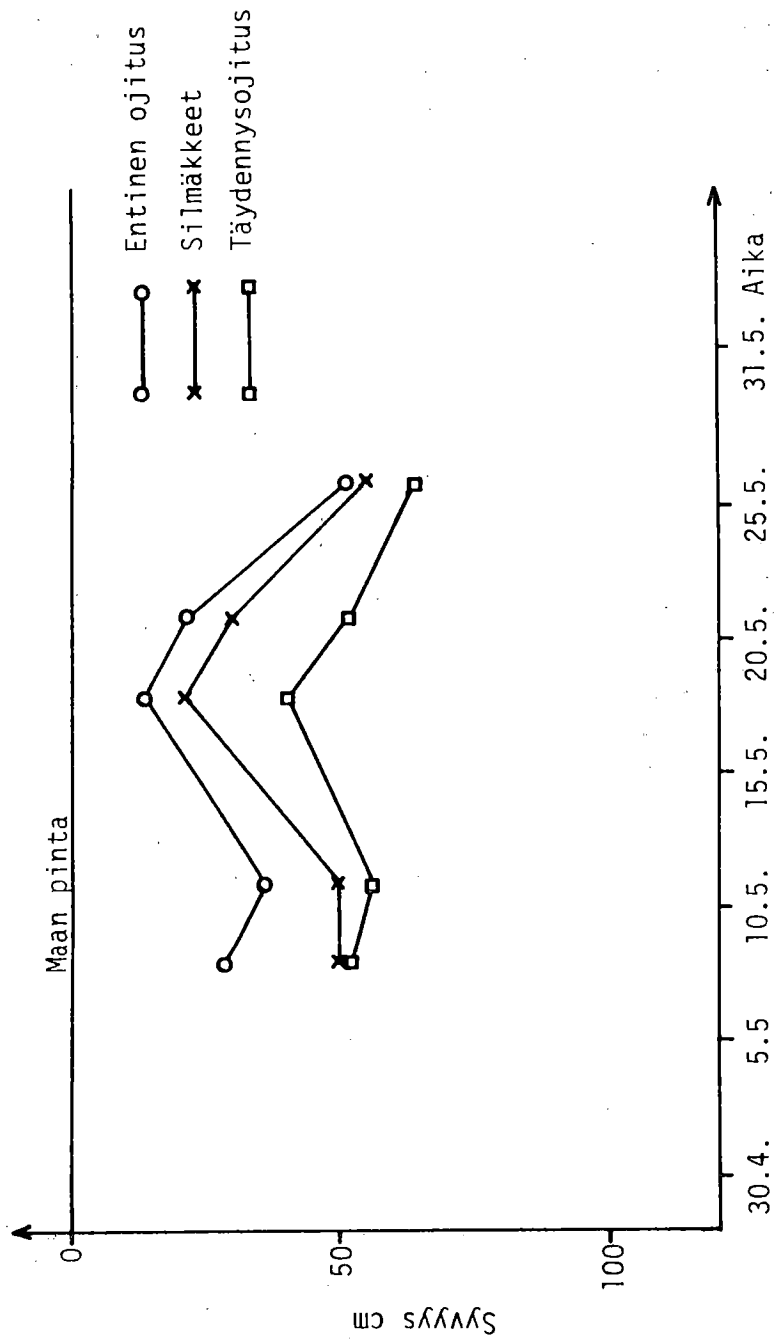
\* = ero merkitsevä, erehtymisen riski 5 %

### 3. Entisen salaojituksen tehostaminen

Silmäkkeitten teko 5 m:n välein on mittausten mukaan tehostanut vanhan ojaston toimintaa, mutta ei ole kuitenkaan estänyt pohjaveden kohoamista syksyllä -86 ja keväällä -87 lähelle maan pintaa. Vasta täydennysojitus on pitänyt pohjaveden pinnan kyntökerroksen alapuolella (kuvat 19 ja 20).



Kuva 19. Pohjaveden pinnat entisen ojituksen tehostamiskokeessa v. 1986. Etäisyys imuojaan 5 m.



Kuva 20. Pohjaveden pinnat entisen ojituksen tehostamiskokeessa v. 1987.  
Etäisyys imuojaan 5 m.

Taulukko 6. Täydennysojituskoje. Keskimääräiset K-arvot ja huokostilavuudet ( $\phi > 0.3$  mm).

Laboratoriomittaukset:

		K cm/h	Huok. til. -%
Ruokamultakerros	0 - 35 cm	205.6	12.5
Imuojien välissä	35 - 55 cm	0.25	3.2
Kaivannon peitemaa	35 - 55 cm	26.3	3.5

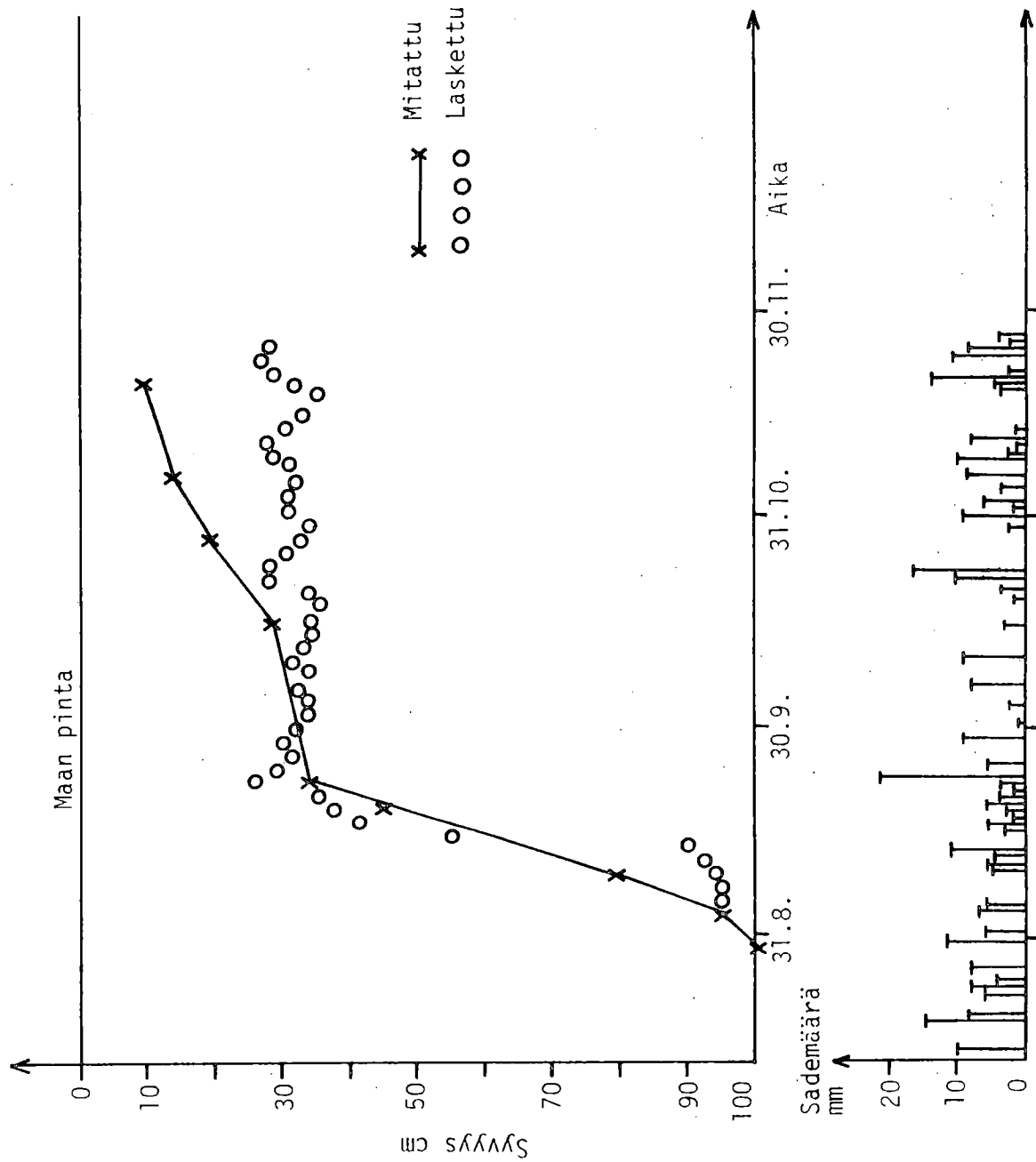
Kairausmenetelmä:

Imuojien välissä	40 - 60 cm	0.86
Imuojien välissä	60 - 80 cm	0.65
Pohjamaa	100 - 200 cm	0.020

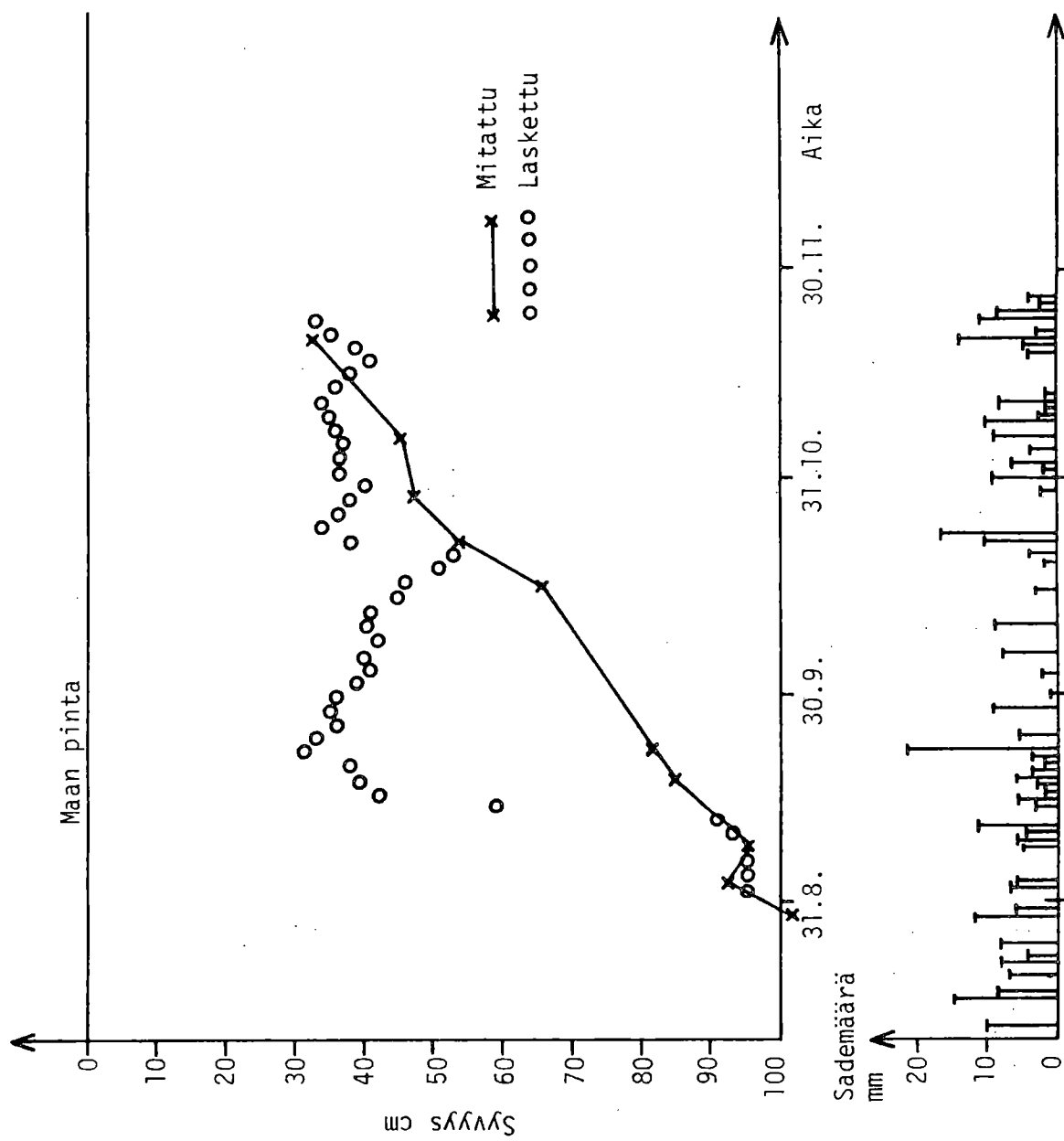
Laboratoriomittausten mukaan ruokamultakerroksen läpäisykyky oli hyvin korkea. Alunperin on koelohkon peittänyt noin puolen metrin paksuinen turvekerros. Turpeeseen on myöhemmin sekoittunut hyvin jäykkää pohjamaata. Ilmeisesti aitosaven ansiosta turve on säilyttänyt ilmavan rakenteen eikä maatuminen ole tuottanut tiivistä pintamaata.

Tietokonelaskenta tehtiin syksyllä -86. Ennusteen ja mittausten mukaan syyssateet nostavat nopeasti pohjaveden pinnan ruokamultakerrokseen, jos ojitusta ei ole täydennetty (kuva 21). Laskennan mukaan vapaan veden pinta ei kuitenkaan nouse 30 cm korkeammalle poiketen näin mittaustuloksista. Laskennassa ei kuitenkaan ole otettu huomioon vanhan ojaston putkien saumojen ja peitesoran mahdollista vastusta veden virtaamiselle. Uusissa ojissa tämä vastus on pieni. Entiselle ojitukselle tehdyissä imeytyskokeissa todettiin paineellisen veden tunkeutuvan hyvin hitaasti peitesoran ja putkien saumojen läpi putken sisään. Täydennysojituksen saaneissa ruuduissa pohjaveden pinta nousi mittausten mukaan paljon hitaammin kuin laskenta osoittaa. Kuitenkin jo lokakuun puolen välin jälkeen laskentatulokset ovat lähellä mitattuja (kuva 22). Täydennysojituksen saaneissa maassa pohjaveden pinta oli lähes kahden kuukauden ajan suunnilleen salaojasyvytydessä, jolloin koemaa





Kuva 21. Pohjaveden korkeus entisen salaajituksen tehostamiskokeessa syksyllä 1986. Alkuperäinen ojitus. Etäisyys imuojaan 5 m.



Kuva 22. Pohjaveden korkeus entisen salaojituksen tehostamiskokeessa syksyllä 1986.

Uusintaojitus. Etäisyys imuojasta 5 m.

on saattanut halkeilla voimakkaasti. Halkeilleella maalla on ilmeisesti ollut kostumisvaiheessa paljon korkempi K-arvo kuin paisuneelle maalle mitattu.

#### 4. Hakekoe

Hakekokeessa on kuivattu aitosavimaa toiminut täyteaineena yhtä hyvin kuin hake (kuva 23). Edellisistä koekentistä poiketen salaojitus on toiminut normaalia imuojaväliä 16 m käyttäen erittäin hyvin. Runsaatkaan sateet eivät ole nostaneet pohjaveden pintaa kyntökerrokseen. Maan kuivuminen sateen jälkeen on ollut nopeaa.

Ojaston moitteeton toiminta perustuu paljolti kyntökerroksen alla olevan maan hyvään läpäisykykyyn (taulukko 7):

Taulukko 7. Hakekoe. Keskimääräiset K-arvot ja huokostilavuudet ( $\phi > 0.3$  mm).

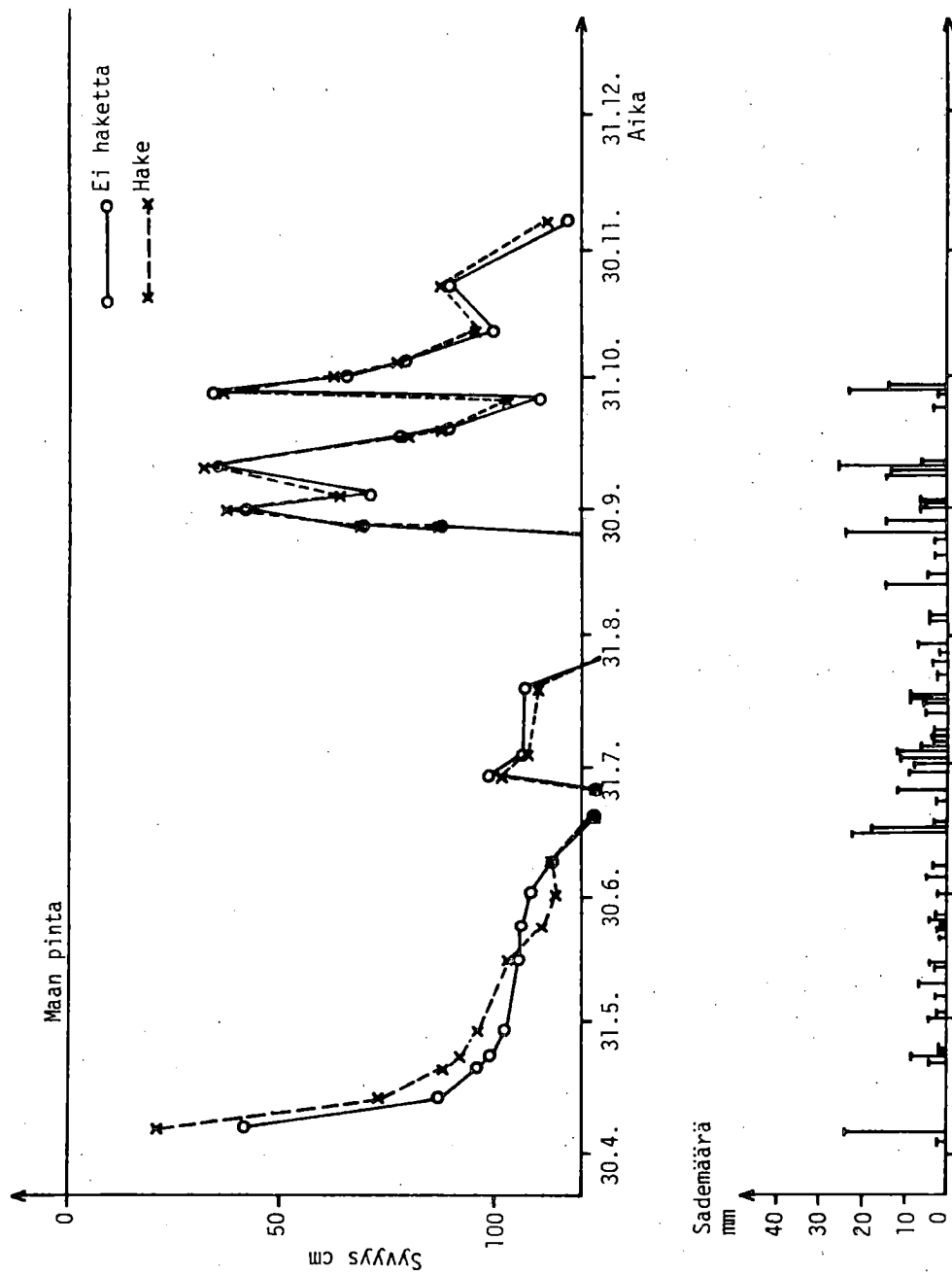
Etäisyys imuojaan 8 m, laboratoriomenetelmä:

Syvyys cm	K cm/h	Huok.til.-%
0 - 25	128.3	11.3
25 - 35	12.5	4.0
35 - 55	2.2	0.74

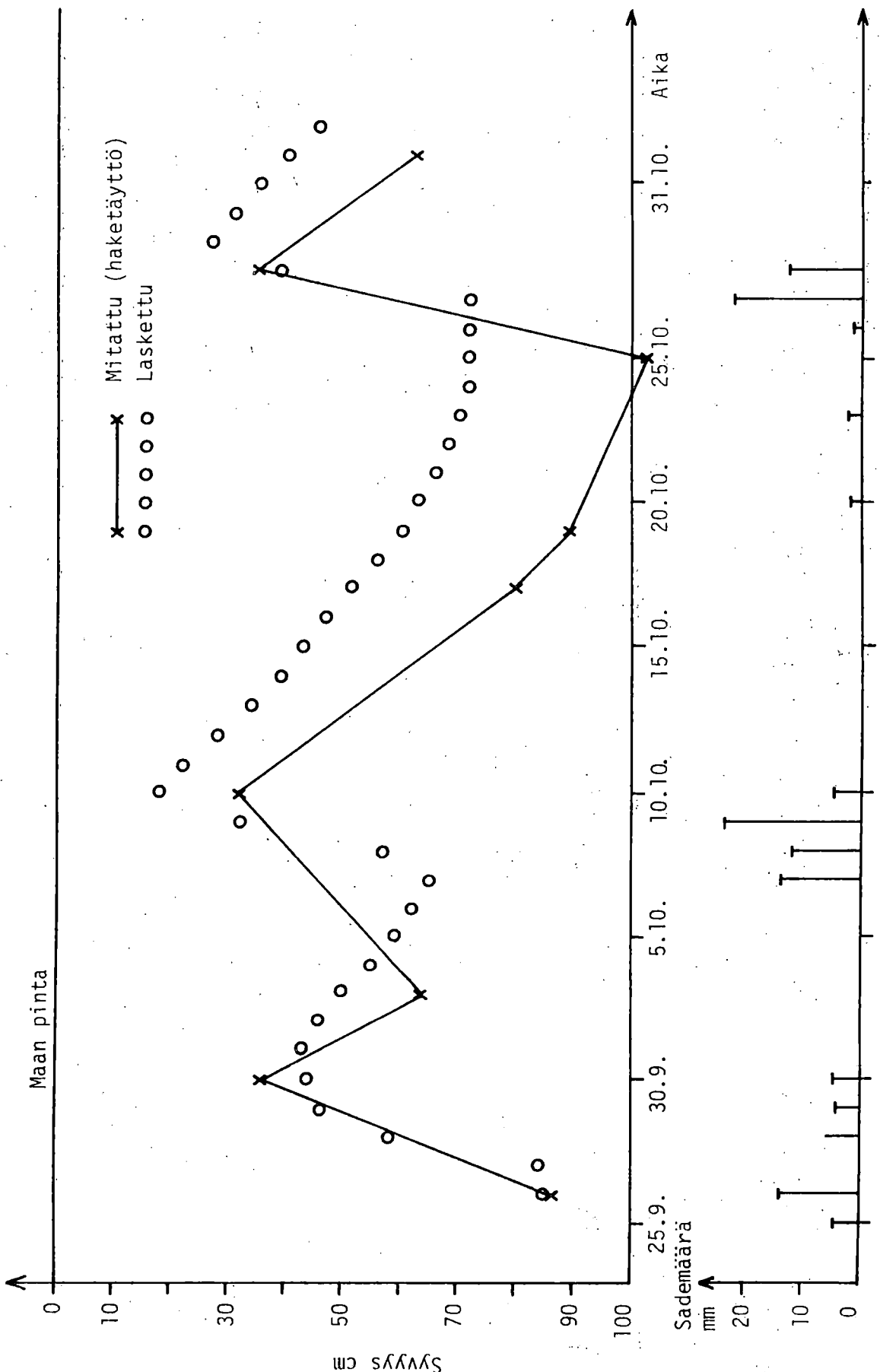
Pohjamaa, kairausmenetelmä:

100 - 200 cm 0.022

Kuvassa 24 on verrattu tietokonelaskennassa saatua pohjaveden pintaa keskimääräisiin mittaustuloksiin. Koemaa on kuivunut lokakuun loppupuolella nopeammin kuin laskentatulokset osoittaa. Mittausten mukaan pohjaveden pinta on painunut jopa salaojaputkien alapuolelle. Lokakuun loppupuolen yöpakkaset ovat saattaneet nostaa vetä maan pinnalle ja siten alentaa pohjaveden pintaa. Koekentän laidalla sijaitseva syvä Kotkanoja on saattanut myös vaikuttaa pohjaveden liikkeisiin koekentässä.



Kuva 23. Pohjaveden pinnat hakeoituskokeessa v. 1988. Etäisyys imuojaan 4 m.



Kuva 24. Pohjaveden korkeus hakeojituskokeessa v. 1988. Laskettu ja mitattu. Etäisyys imuojaan 4 m.

Kyntökerroksen alapuolella olevan maan hyvä vedenläpäisykyky perustuu paljolti lierojen kaivamiin reikiin. Kuvassa 25 on esitetty K-arvon ja lieronreikien tiheyden välinen positiivinen vuorosuhde. Jos näytteen läpi ei kulje yhtään lieronreikää, K-arvo on ollut alle 1 cm/h. Ojaston hyvä toimivuus perustuu ilmeisesti suureksi osaksi lierojen toimintaan koemaassa.

Väriainemittaukset osoittavat veden liikkuvan lähes kohtisuoraan imuojaan. Väriaine on liikkunut veden mukana kyntökerroksen pohjalla kaivannon täytemateriaaliin saakka (kuva 26). Tulosten mukaan hake tehokkaasti pysäyttää sulamisvesien virtaukset kyntökerroksessa estäen näin vettä kertymästä pellon alaviin kohtiin.

### 5. Täydennysojien täyttömateriaalikoel

Mittausten mukaan kuivatettu pintamaa ja hake ovat olleet yhtä hyviä täyttömateriaaleja (kuva 27). Taulukon 1 sivulla 8 mukaan täytemaa sisältää yli 80 % savesta. Maan muhituksella ja kuivattamisella on ilmeisesti saatu täytemaalle kestävä ja hyvin läpäisevä mururakenne. Kuvan 28 mukaan laskettu pohjaveden korkeus seuraa tyydyttävästi mitattua pohjaveden korkeutta.

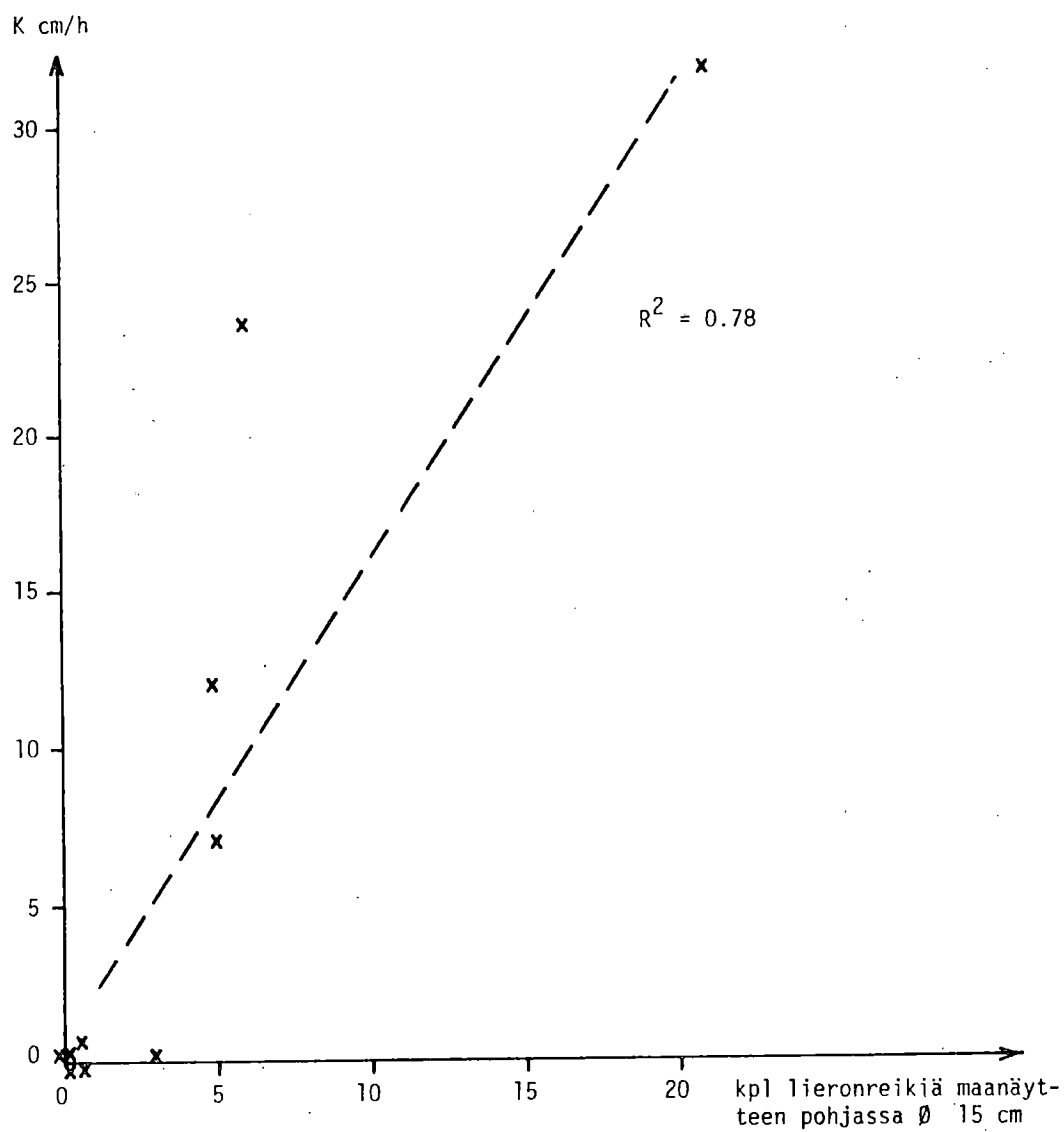
Taulukko 8. Täydennysojien täyttömateriaalikoel. Keskimääräiset K-arvot ja huokostilavuudet ( $\varnothing > 0.3$  mm).

Mittaus imuojien välistä:

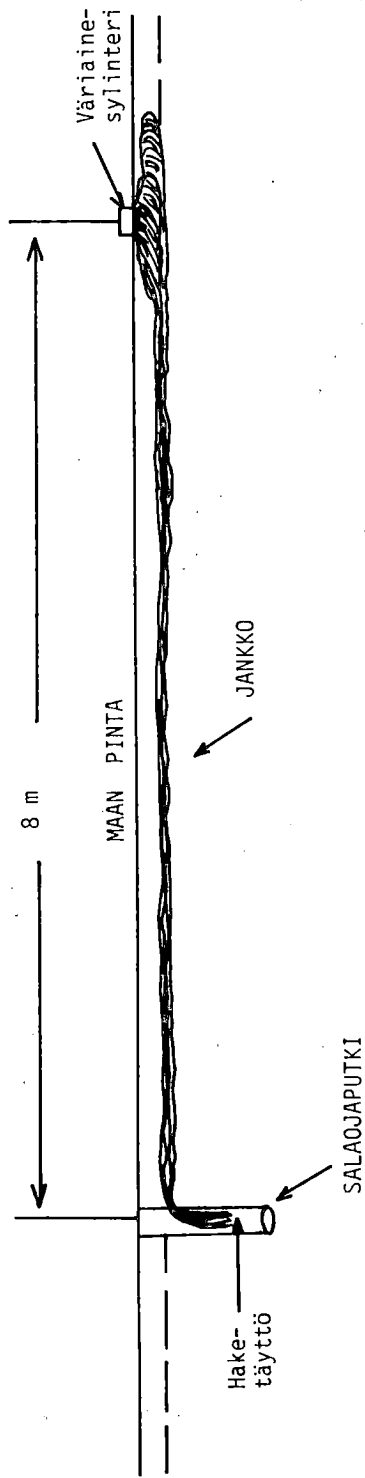
Syvyys cm	K cm/h	Huok.til.-%
0 - 25	7.3 (infiltrometri)	5.7
25 - 100	0.24 (pohjaveden pinnan alapuolinen kairausmenetelmä)	1.5

### 6. Läpäisykyvyn ja ojavälin merkitys laskennan mukaan

Laskennassa käytetyt maan K-arvot ja vedenpidätyskyvyt ovat taulukossa 9. Tulokset on esitetty kuvissa 29 ja 30. Jos pohjamaan K-arvot ovat selvästi alle yhden, maa kuivuu hitaasti. Käytännössä kuivuminen on tässä tapauksessa keväällä haihtumisen varassa. Kun pohjamaan läpäisykyky lähenee arvoa 1 cm/h, ojatiheys 16 m:n imuoja-

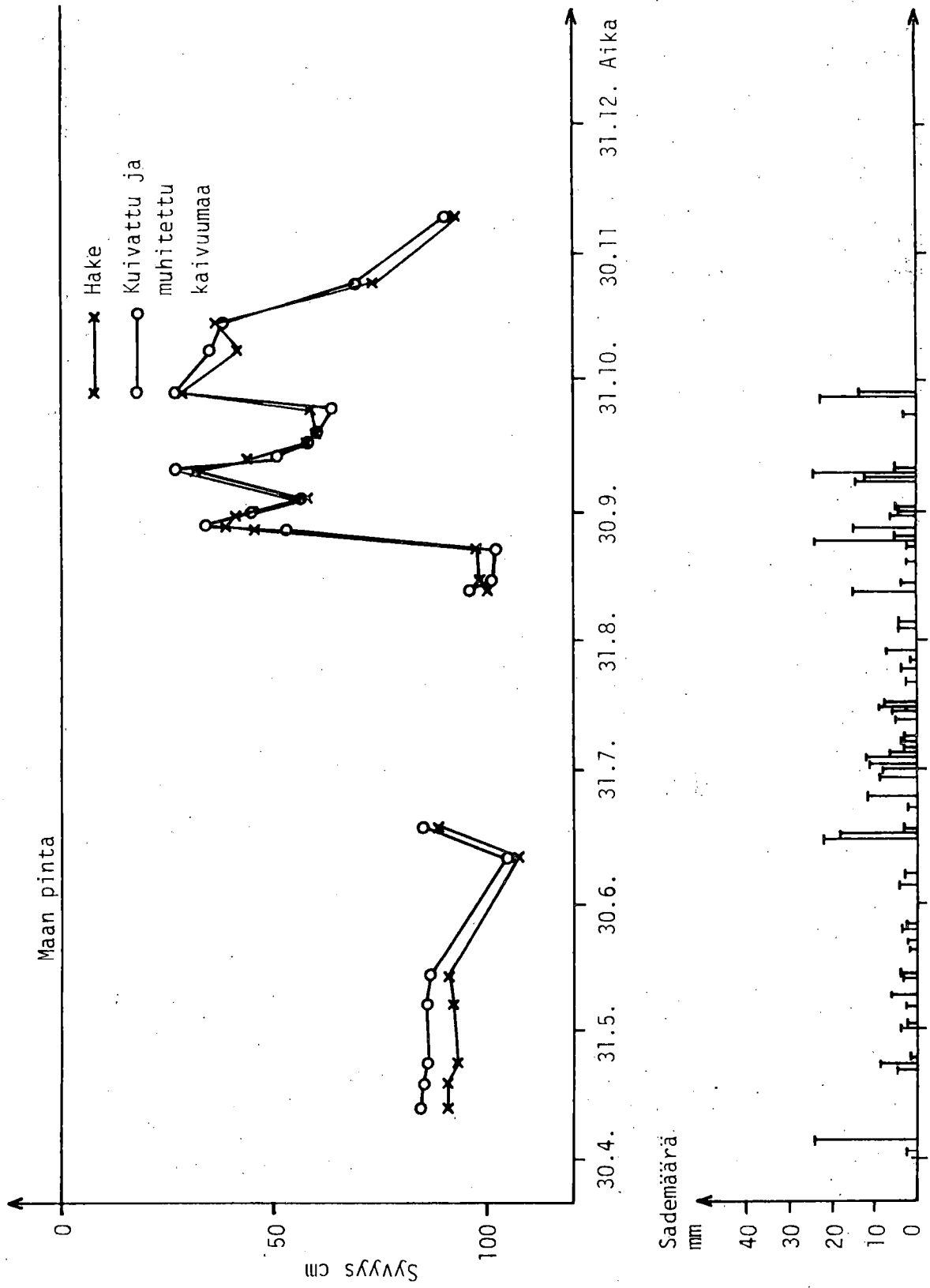


Kuva 25. Lieronreiät ja maan vedenläpäisykyky pohjamaassa.  
Hakeojituskoee.

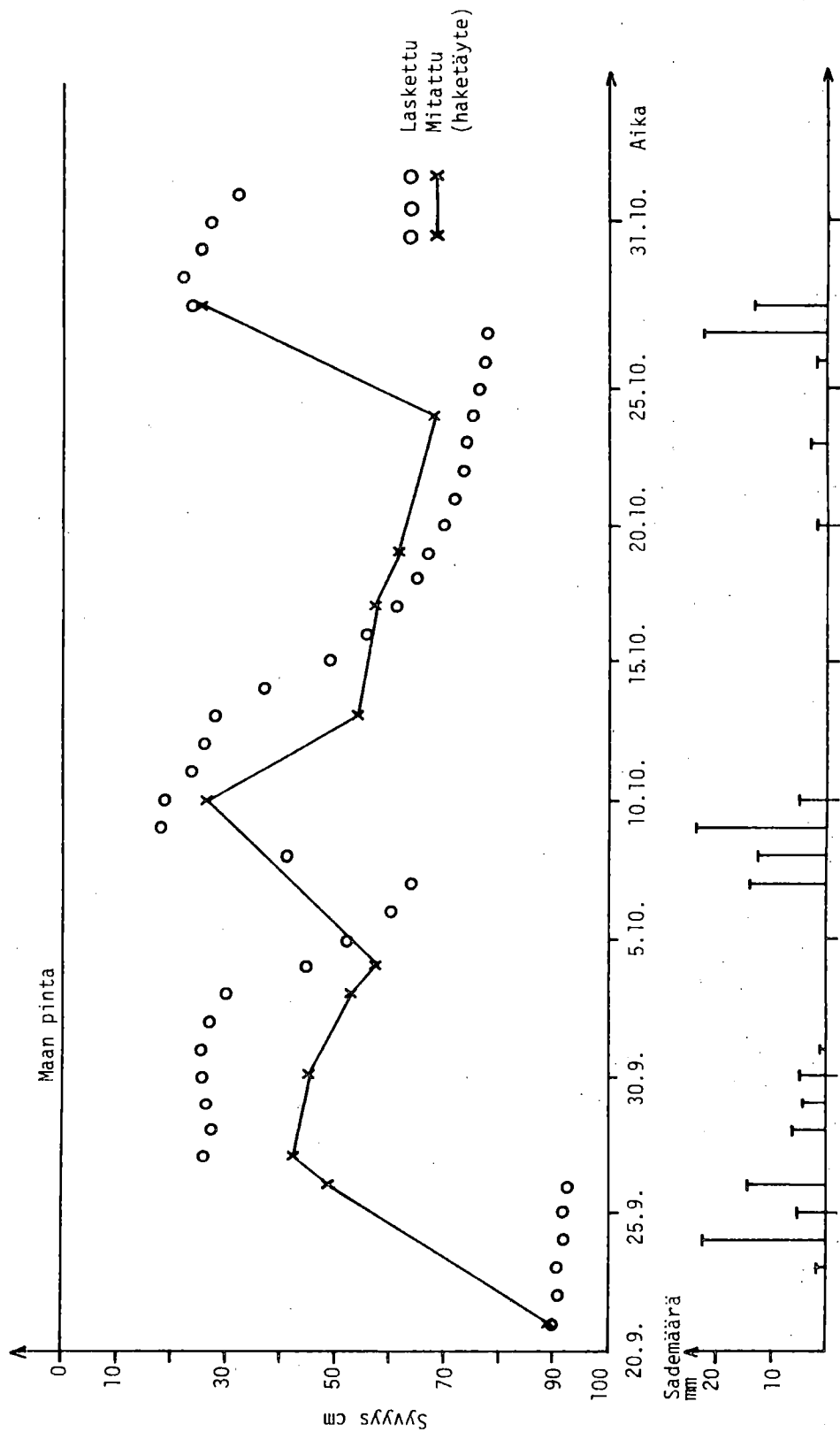


Kuva 26. Väriaineen kulkeutuminen veden mukana hakeojituskokeessa. Väriainesylinteri asennettiin 9.10.1987. Väriaineen liikerata tutkittiin 1.7.1988.

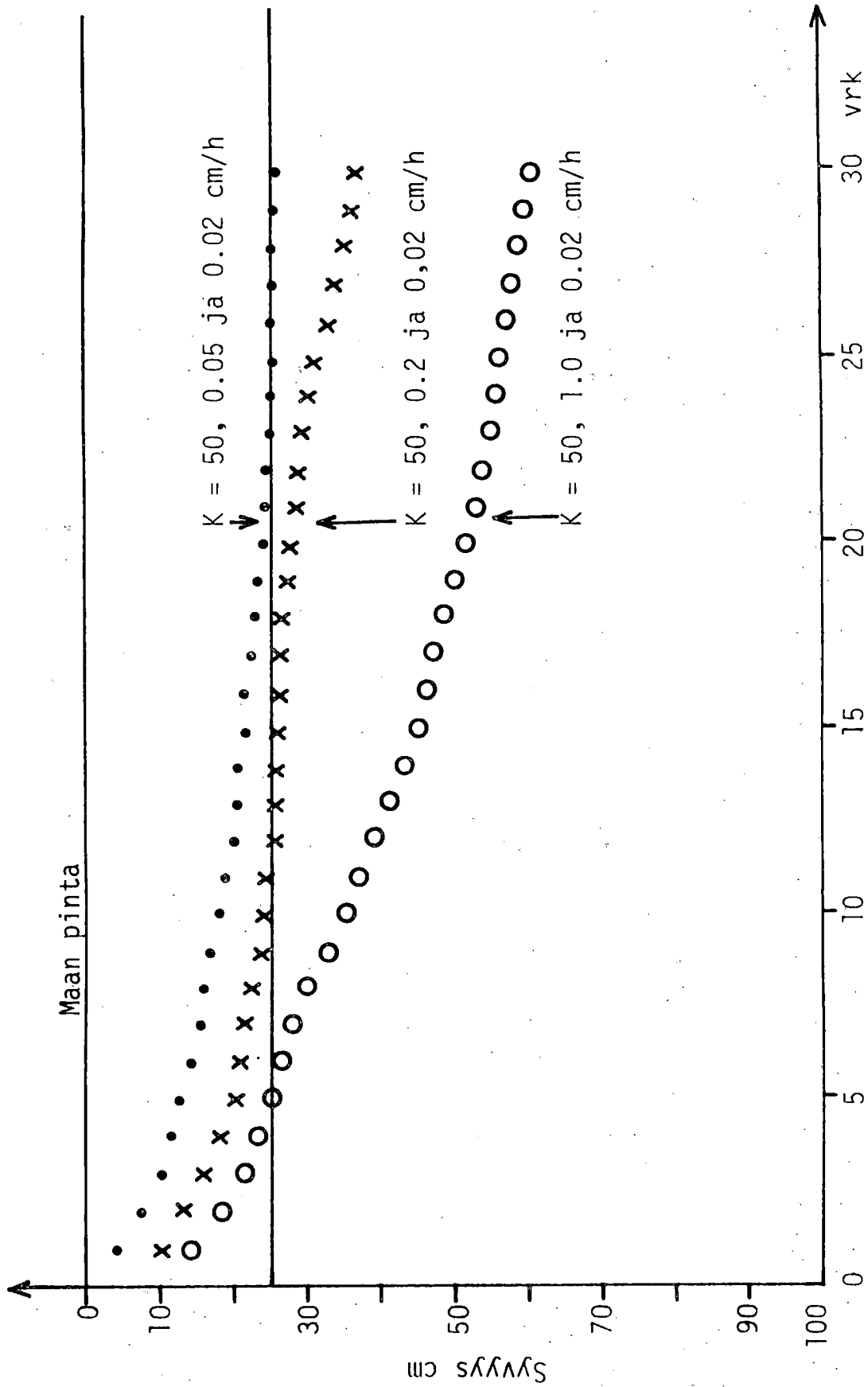




Kuva 27. Pohjaveden pinnat täyttömateriaalikoikeessa v. 1988. Etäisyys imuojaan 3 m.

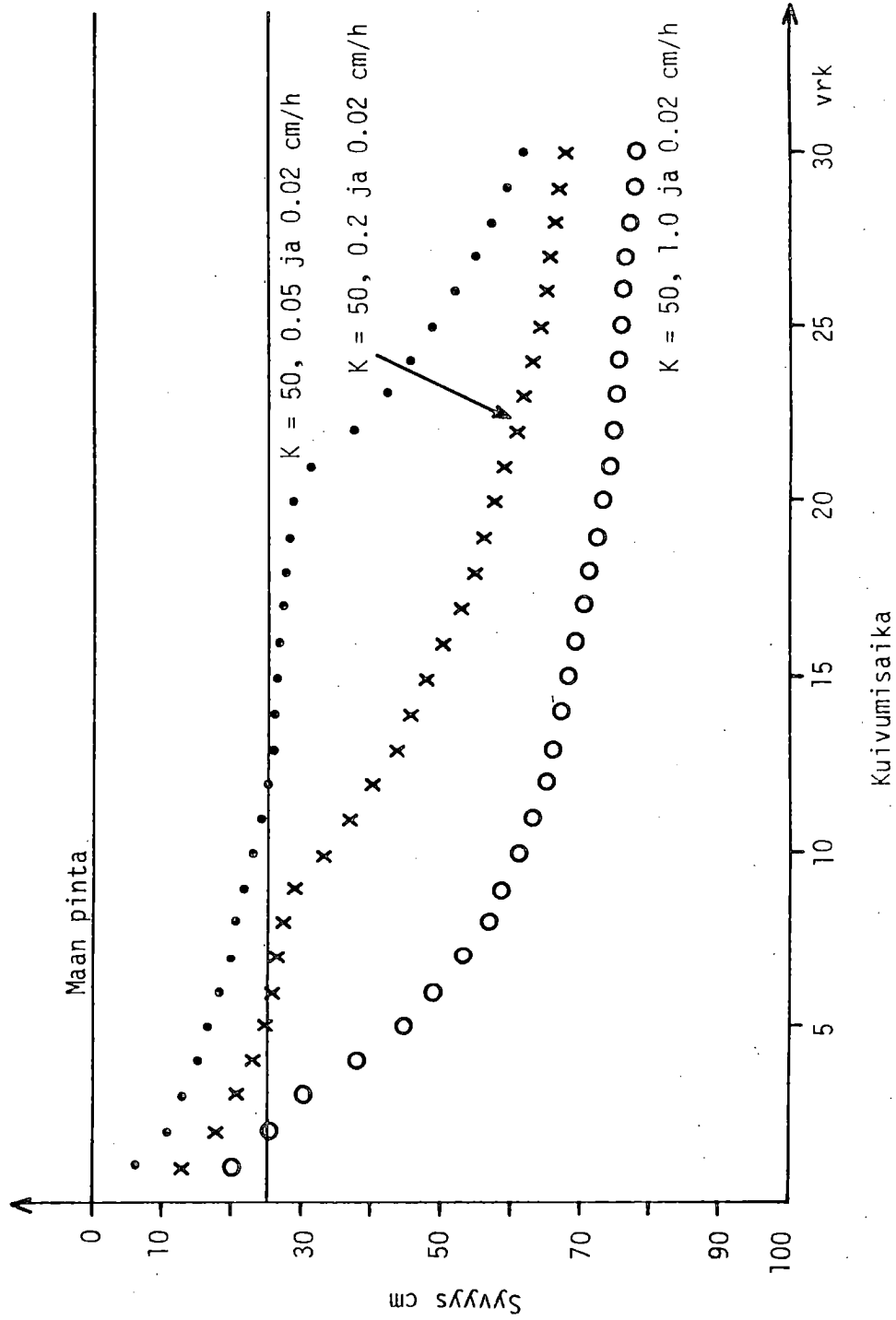


Kuva 28. Pohjaveden korkeus täyttömateriaalikohteessa. Lasketut ja mitatut arvot. Etäisyys imuojasta 8 m.



Kuivumisaika

Kuva 29. Maan kuivuminen käytettäessä 16 m:n imuojaväliä. Laskemalla saatu pohjaveden pinta. Etäisyys imuojaan 8 m.



Kuva 30. Maan kuivuminen käytettäessä 10 m:n ojaväliä. Laskemalla saatu pohjaveden pinta. Etäisyys imuojaan 5 m.

väliä käytettäessä näyttää riittävältä. Kuvan 30 mukaisesti ojavälin 16 m pienentäminen 10 m:iin jouduttaa huomattavasti tiiviinkin maan kuivumista.

Taulukko 9. Käytetyt K-arvot cm/h ja vedenpidätyskyvyt  $W^S$  cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> laskettaessa ojavälin ja läpäisykyvyn vaikutusta.

Syvyys cm	K	$W^S$	K	$W^S$	K	$W^S$
0 - 25	50.	0.15	50.	0.15	50.	0.15
25 - 100	0.05	0.02	0.2	0.05	1.0	0.1
100 - 300	0.02		0.02		0.02	

Taulukko 10. Laskennassa käytetyt läpäisykyvyt K ja maan vedenpidätyskyvyt  $W^S$  potentiaalivälillä -0.3 - -100 cm.

Syvyys cm	Ojien väli		Kaivannon täytemaa	
	K cm/h	$W^S$ cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	Syvyys cm	K cm/h

### 1. Salaojan kaivuuleveys- ja sorastuskoe

0 - 25	84.4	0.148		
25 - 45	0.042	0.025	25 - 45	0.73
45 - 65	0.028	0.023	45 - 95	1.12
65 - 100	0.061	0.023		
100 - 300	0.0092	0.010		

### 2. Sorasilmäkekoe

0 - 25	55.8	0.148		
25 - 35	1.74	0.069	25 - 95	1.89
35 - 95	0.21	0.016		
95 - 300	0.016	0.010		

### 3. Entisen salaojituksen tehostaminen

0 - 35	205.6	0.224		
35 - 45	1.47	0.057	35 - 95	26.3
45 - 65	0.86	0.057		
65 - 95	0.65	0.057		
95 - 300	0.020	0.010		

## 4. Hakekoe

0 - 25	128.3	0.162		2)
25 - 35	12.5	0.082	25 - 95	150.
35 - 95	2.18	0.026		
95 - 300	0.022	0.010		

## 5. Täydennysojien täyttömateriaalikoe

	1)	1)		2)
0 - 25	200.	0.20		
25 - 100	0.24	0.026	25 - 95	150.
100 - 300	0.020	0.010		

2) MYLLYS mitannut hakepeitteiden K-arvoja (henkilökohtainen tiedonanto)

## D. TULOSTEN TARKASTELU.

Pohjaveden pinnan korkeuden seuraaminen soveltuu hyvin salaojien tehokkuuden mittaamiseen savimaissa. Ojiin juokseva vesi on varastoituina savimaissa halkeamiin, lierojen tekemiin reikiin ja juurikanaviin. Kun maaveden kapillaaripotentiali alenee nollan alapuolelle, kasvaa maan ilmatila aluksi hyvin nopeasti (liite 2, kuva 1, AURA 1983). Tästä syystä ojiin juokseva vesi on varastoituneena lähinnä veden kyllästämään osaan maata ja vapaan veden pinnan taso voidaan tarkasti mitata.

Salaojien kaivuuleveys- ja sorastuskokeen mukaan noin 10 cm:n sorakerros salaojaputken päällä on täysin riittävä. Kerroksen kasvattaminen 20 cm:iin ei tehostanut lainkaan ojien toimintaa. Koealueella esiintyi syksyisin runsaasti pintavettä. Pintaveden poistamiseksi tulisi laskelmien mukaan kaivannon täytemaan olla kauttaaltaan hyvin läpäisevää. Kaivannon leventämisestä ei mittaustulosten mukaan ole hyötyä. Tärkeämpää on täyttää kaivanto hyvin vettä johtavalla materiaalilla. Jos pohjamaa on aitosavea, dispergointikokeen mukaan maan kuivattaminen ilmakuivaksi tehokkaasti stabiloi täytemaan rakennetta vedenkestäväksi.

Sorasilmäkekokeen mukaan silmäkkeiden vaikutus ojien tehokkuuteen on vähäinen. Ilmeisesti käytännössä on sorasilmäkkeiden vaikutusta liikaa korostettu unohtaen täytemaan läpäisevyyden merkitys ja ojatiheyden tarkoituksenmukainen määrittäminen. Täydennysojituskokeen mukaan uusien imuojien kaivaminen vanhojen väliin ja vanhaan kokoojajajaan liittäen on tehokas tapa parantaa ojaston toimivuutta. Jos vanhaa kokoojaa ei käytetä ja vanhat imuojat katkaistaan uusilla kaivannoilla, tukitaan helposti vanhat ojaputket. Tällöin ei hyödynnetä vanhoja imuojia, joilla useimmiten teho on osittain säilynyt.

Hakekokeen tulokset osoittavat, että 16 m:n välein kaivetut ojat pystyvät pitämään pintavedet poissa pellolta, jos kaivannon täytemaan läpäisykykyyn kiinnitetään riittävästi huomiota ja maan huokoisuudesta pidetään huolta. Tulosten mukaan lierojen toiminta parantaa märkinä vuosina ratkaisevasti kyntökerroksen alapuolella olevan maan läpäisykykyä. Sorasilmäkekokeen maanäytteistä tehty lieronreikälaskenta osoittaa, että lierojen toiminta on aktiivisinta salaojan läheisyydessä. Pohjaveden pinnan pitäminen alhaalla ilmeisesti lisää lierojen määrää peltomaassa ja tällä tavoin parantaa tehokkaasti maan rakennetta. Täydennysojien täyttömateriaalikokeen mukaan kuivatettu ja muhitettu jäykän savimaan pinta-kerros on hyvää salaojan täyttömateriaalia. Kaivannon läpäisykykyä vedelle ei kuitenkaan ole tässä kokeessa vielä mitattu.

Liitetaulukoista käy hyvin selville, että aikaisemmin liikaveden vaivaamissa maissa suurin K-arvo on kyntökerroksessa. Syvemmälle mentäessä läpäisykyky alenee jyrkästi. Tällainen tilanne ei ilmeisesti ole savimaissa, joissa ojitus on toiminut hyvin ja pohjaveden pinta ei helposti nouse ruokamultakerrokseen. Esimerkiksi MTTK:n muokkauskokeissa on mitattu aitosavimaista puolen metrin syvyydestä K-arvoja, jotka ovat jopa kymmeniä senttimetrejä tunnissa (PITKÄNEN, henkilökohtainen tiedonanto).

Koemaille mitattujen K-arvojen ja vedenpidätysominaisuuksien perusteella ennustettiin pohjaveden syvyys märkinä syksyinä, kun haihdunta on vähäistä. Laskennassa aiheuttavat virheitä seuraavat tekijät:

- Käytännössä peltojen pinta oli lievästi kalteva. Laskennassa oletettiin pellolle vaakatasossa oleva pinta.
- Maan kosteus laskennan alkuhetkellä ei ollut tiedossa. Oletettiin, että maavesi on tasapainossa pohjaveden pinnan kanssa.
- Kokemusten mukaan uusissa ojissa vesi imeytyy hyvin nopeasti soran ja putken saumojen tai reikien läpi putken sisään. Tämän vuoksi ei putken ja ympäryksineen vastusta veden liikkeelle otettu huomioon. Kuitenkin täydennysojituskokeessa vanhan putken vastus veden virtaamiselle putken sisään voi olla huomattava.
- Syksyllä sattuneet yöpakkaset nostavat vettä maan pintaan alentaen näin nopeasti pohjaveden tasoa. Laskenta ei ota huomioon lämpötilaeroja maassa ja pinnan jäätymistä pakkasyönä.
- Laskenta antaa tulokseksi aivan liian korkean pohjavedenpinnan, jos maa on laskennan alkaessa vielä kuivumisen johdosta kutistuneessa ja halkeilleessa tilassa. Käytetty laskenta sopii paisuneelle savimaalle, jonka kosteus vastaa kenttäkapasiteettia tai sitä märempää maata. Koska K-arvot ovat pienimmillään paisuneessa savessa, kostealle maalle tehdyt laskelmat ovat mielenkiintoisimpia ajatellen salaojitustekniikkaa. Kutistumisen ja paisumisen huomioonottaminen tekee mittaukset ja laskelmat tässä työssä käytettyihin menetelmiin verrattuna paljon työtä vaativiksi (esim. JARVIS ja LEEDS-HARRISON 1987, TOWNER 1989).
- Vedenjohtokyvyn vahvasti epälineaarinen riippuvuus maaveden kapillaaripotentialista ilmeisesti antaa osalle elementeistä liian korkean keskimääräisen vedenjohtokyvyn. Syy tähän on muotofunktioiden lineaarisuus. Vedenjohtokyky elementissä estimoidaan elementin nurkkien (solmujen) vedenjohtokyvyistä käyttäen lineaarisia muotofunktioita. Vaikka teoreettisesti tuloksena on virheellisesti liian nopea maan kuivuminen runsaan sateen jälkeen (ks. liite 1), käytännössä tämän virheen merkitys on ilmeisesti kuitenkin pieni.



Monista virhelähteistä huolimatta laskennan antamat ennusteet ovat sopusoinnussa mittaustulosten kanssa. Laskenta on hyvin ennustanut vapaan veden pitkäaikaisen esiintymisen kyntökerroksessa märkänä syksynä tai pohjaveden pinnan nopean alenemisen runsaan sateen jälkeen onnistuneesti ojitetussa maassa. Jos pellon kaltevuus on alle 1 %:n ja syksyn aikana ei esiinny yöpakkasia, laskennalla voidaan usein ennustaa pohjaveden pinnan korkeus noin 10 cm:n tarkkuudella. Ottaen huomioon pellon pinnan epätasaisuus tulosta voidaan pitää hyvänä. Kevätoloissa sateen lisäksi olisi otettava huomioon myös haihtuminen. Laskentaa kannattaa kokeilla ojaston toiminnan ennustamisessa myös kaltevilla mailla. Tällöin on syytä ottaa huomioon myös veden mahdollinen valuminen maan pintaa pitkin.

Suomessa on KARVONEN (1988) mallintanut salaojien toimintaa käyttäen ZARADNYN ja FEDDESIN ehdottamaa elementtijakoa salaojasysteemiä koskevan reuna-arvo-ongelman ratkaisemisessa. KARVOSELLA ei kuitenkaan ollut työssään käytettävissä koealueen eri maakerrosten mitattuja K-arvoja eikä vedenpidätyskäyriä. Vedenpidätyskäyrät jouduttiin estimoimaan maalajin perusteella ja osa käytetyistä K-arvoista ei ollut riippumaton ennustettavista tuloksista. KARVONEN on työssään mallintanut veden ja lämmön samanaikaista liikkuamista osittain jäätyneessä maassa (KARVONEN ym. 1986, 1988). Salaojaston toiminnan ennustaminen myöhään syksyllä ja varhain keväällä vaatii maaveden jäätyneen ja lämpötilaerojen vaikutuksen huomioonottamista laskennassa.

Laskentamenetelmillä voi olla huomattava merkitys salaojitustutkimuksissa, koska voimavarat Suomessa eivät riitä laajaan kenttäkoetointaan. Toisaalta suurellakaan koetulospöytäkirjalla ei voida korvata onnistunutta laskentaa. Laskentaa kannattaa tarkentaa esimerkiksi mittaamalla vanhojen salaojien soran ja putken saumojen aiheuttama vastus veden virtaamiselle maasta putken sisään. Laskentaa voidaan myös soveltaa arvioimaan maan tiivistämis- ja muokauskokeista mitattujen K-arvojen ja suurten huokosten tilavuuksien merkitystä kosteissa oloissa. Vaikeinta laskentamenetelmien käyttö on jäykkien savimaiden vesitalouden ennustamisessa. Karkeimmat maat ovat homogeenisempiä ja kutistuvat kuivuessa jäykkiä maita vähemmän, mikä helpottaa Darcyn lain soveltamista (VAKKILAINEN ja VIRTANEN 1986).

## KIRJALLISUUSLUETTELO

- AURA, E. 1983. Soil compaction by the tractor in spring and its effect on soil porosity. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 55: 91-107.
- BOAST, C. W. & KIRKHAM, D. 1971. Augerhole seepage theory. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 35: 365-373.
- ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agr. Fenn.* 122: 1-122.
- ERNST, L. 1950. Een nieuwe formule voor het berekenen van de doorlaatfactor met de boorgatenmethode. Rapport Landbouwp-roefstation en Bodemkundig Instituut TNO, Groningen. (Ref. SMEDEMA, L. K. & RYCROFT, D. W. 1983)
- HEINONEN, R. 1985. Soil management and crop water supply. Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 105 p.
- HILLEL, D. 1982. Introduction to soil physics. 364 p. New York.
- JARVIS, N. J. & LEEDS-HARRISON, P. B. 1987. Modelling water movement in drained clay soil. I. Description of the model, sample output and sensitivity analysis. *J. Soil Sci.* 38: 487-498.
- KARVONEN, T. 1988. A model for predicting the effect of drainage on soil moisture, soil temperature and crop yield. Helsinki University of Technology, Publications of the Laboratory of Hydrology and Water Resources Engineering 1988/1: 1-215.
- , LEMMELÄ, R. & SUCKSDORFF, Y. 1986. Infiltration into a seasonally frozen soil and modeling of soil freezing and thawing phenomena. Proceedings of International Seminar on Land Drainage. Helsinki University of Technology Department of Civil Engineering, Water Engineering. p. 324-347.
- KIRKHAM, D. & GASKELL, R. E. 1950. The falling water table in tile and ditch drainage. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 15: 37-42.
- NEUMAN, S. P., FEDDES, R. A. & BRESLER, E. 1975. Finite element analysis of two-dimensional flow in soils considering water uptake by roots: I Theory. *Soil Sci. Amer. Proc.* 39: 224-230.

- PINDER, G. F. & GRAY, W. G. 1977. Finite element simulation in surface and subsurface hydrology. 295 p. London.
- PUUSTINEN, M. & PEHKONEN, A. 1986. Salaojien toimintahäiriöt. Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitos. Tutkimustiedote 48: 11-67.
- , VARIS, R. & LUOMA, T. 1987. Salaojien toimintahäiriöiden korjaus savi- ja turvemaidilla. Helsingin yliopiston maatalous-tekologian laitos. Tutkimustiedoite 51: 1-109.
- REMSON, I. HORNBERGER, G. M. & MOLZ, F. J. 1971. Numerical methods in subsurface hydrology. 389 p. New York.
- REYNOLDS, W. D., ELRICK, D. E. & TOPP, G. C. 1983. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity. Soil. Sci. 136: 250-268.
- SIPPOLA, J. 1982. A comparison between a dry-combustion method and a rapid wet-combustion method for determining soil soil organic carbon. Ann. Agric. Fenn. 21: 146-148.
- SMEDEMA, L. K. & RYCROFT, D. W. 1983. Land Drainage. 376 p. London.
- STEPHENS, D. B. & NEUMAN, S. P. 1982. Free surface and saturated-unsaturated analyses of borehole infiltration tests above the water table. Adv. Water Resources 5: 111-116.
- TOWNER, G. D. 1989. The application of classical physics transport theory to water movement in soil: development and deficiencies. J. Soil Sci. 40: 251-260.
- VAKKILAINEN, P. & VIRTANEN, S. 1986. Applicability of drainage equations to Finnish conditions. Proceedings of International Seminar on Land Drainage. Helsinki University of Technology Department of Civil Engineering, Water Engineering. p. 27-35.
- VIRTANEN, S., SAAVALAINEN, J. & MARTTUNEN, M. 1988. Salaojien tutkimus Suomessa. Kirjallisuusselvitys. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry. 96 p.
- WANG, H. F. & ANDERSON, M. P. 1982. Introduction to groundwater modeling. Finite difference and finite element methods. 237 p. San Francisco.
- ZARADNY, H. & FEDDES, R. A. 1979. Calculation of non-steady flow towards a drain in saturated-unsaturated soil by finite elements. Agric. Water Manage. 2: 37-53.

## LIITE 1

Salaojasysteemiä koskevan reuna-arvo-ongelman ratkaiseminen elementtimenetelmällä

Salaojasysteemiä voidaan tarkastella 2-ulotteisesti, jolloin x-koordinaatti kuvaa etäisyyttä salaojaputken keskipisteestä vaakasuoraan suuntaan ja z koordinaatti etäisyyttä pystysuoraan suuntaan. Keväisin ja syksyisin, kun kasvit eivät ota maasta vettä, maaveden potentiaalin muutosta kuvaa yhtälö:

$$\nabla \cdot [K(H)\nabla H] - C(H) \frac{\partial H}{\partial t} = L(H) = 0 \quad (1)$$

missä

$$\nabla = \bar{i} \frac{\partial}{\partial x} + \bar{j} \frac{\partial}{\partial z}$$

H = maaveden potentiaali cm

H = h + z

h = kapillaaripotentiaali cm

z = korkeuskoordinaatin avulla ilmaistu gravitaatiopotentiaali cm

K(H) = K(h) = kapillaaripotentiaalista riippuva maan vedenjohtokyky

C(H) = dW/dh = maan vedenpidätyskäyrän derivaatta

W = maan vesipitoisuus cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>

t = aika h

Eniten käytettiin kuvan 1 mukaista elementtijaoitusta. Differentiaaliyhtälön (1) tuntematon funktio  $H$  korvataan likimääräisellä elementtien muotofunktioiden lineaarisella yhdistelmällä:

$$\hat{H} = \hat{h} + z \quad (2)$$

$$\hat{h} = \sum_{i=1}^M h_i(t) \phi_i(x, z) \quad (3)$$

missä  $h_i$  = solmun ajasta riippuva kapillaaripotentiali cm

$\phi_i$  = elementin ns. muotofunktio, jonka arvo solmussa  $i$  on 1 ja muissa solmuissa 0

Korvattaessa  $H$  funktiolla  $\hat{H}$  ei yhtälö (1) täysin toteudu. Syntynyttä virhettä merkitään  $R$ :llä:

$$R = L(\hat{H}) \quad (4)$$

Minimoidaan jäännös käyttäen Galerkinin menetelmää. Muodostetaan  $R$ :n ja muotofunktion sisätulo ja merkitään se nolllaksi eli  $R$  integroidaan reunaehtojen rajoittaman ratkaisualueen yli käyttäen painoina muotofunktioita.

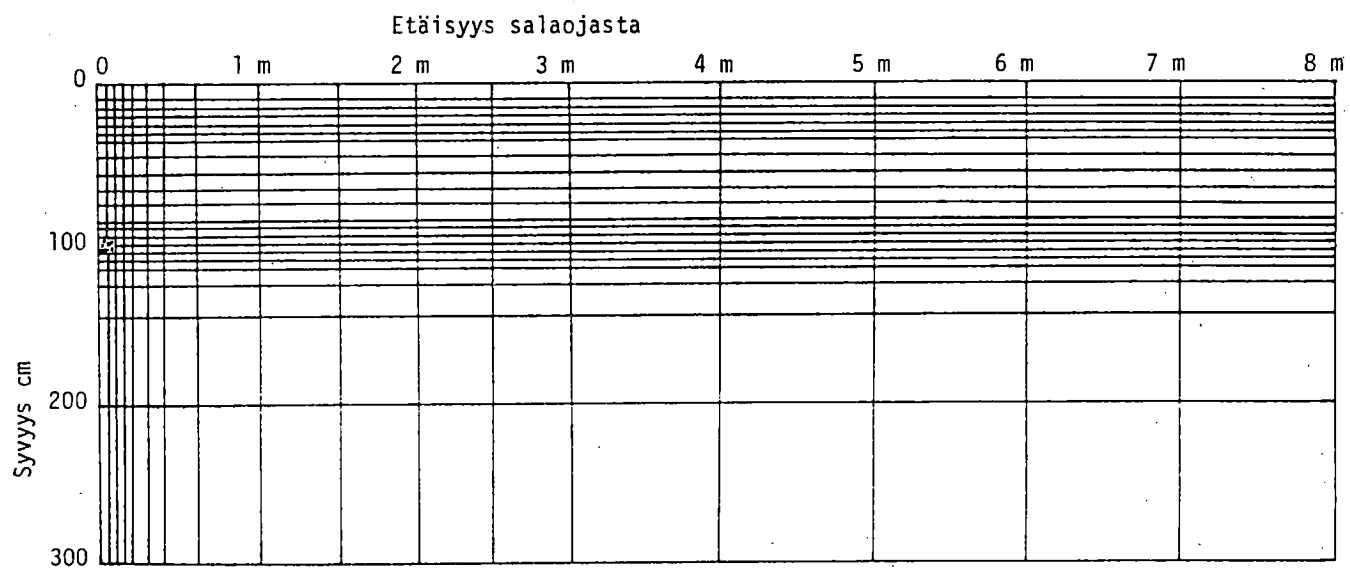
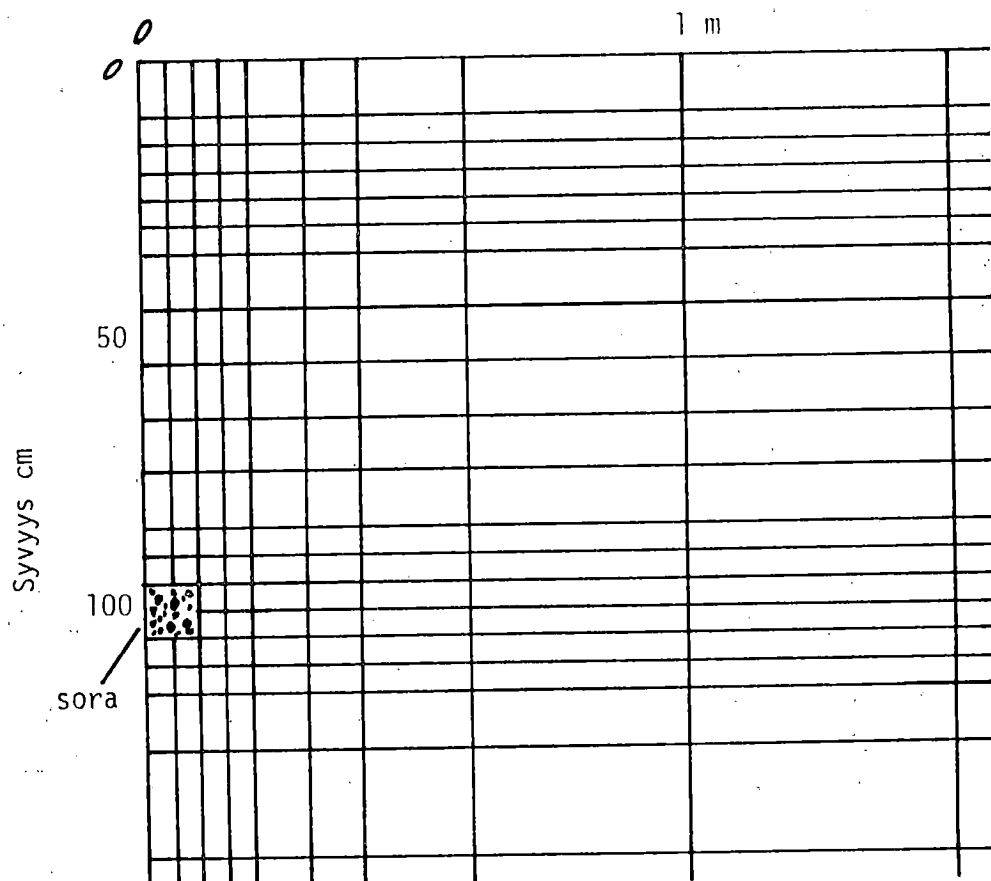
$$\langle L\hat{H}(x, z, t), \phi_i(x, z) \rangle = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (5)$$

missä

$M$  = solmujen luku

Greenin 1. identiteetin mukaan

$$\int_a \nabla \cdot (\phi_i K(H) \nabla \hat{H}) = \int_a \nabla \phi_i \cdot K(H) \nabla \hat{H} + \int_a \phi_i \nabla \cdot (K(H) \nabla \hat{H})$$



Kuva 1, liite 1

$$= \int_{\Gamma} \phi_i K(H) \nabla \hat{H} \cdot ds \bar{n} \quad (i = 1, \dots, M) \quad (6)$$

missä a merkitsee integroimista reunaehtoien rajoittaman ratkaisalueen yli ja T integroimista reuna-alueen ympäri  $\bar{n}$ :n ollessa reunasta kohtisuoraan ulospäin suuntautuva yksikkövektori.

Käyttäen greenin kaavaa ja sijoittamalla H saadaan sisätulosta (5) ja ottaen huomioon, että K:n ja C:n arvot eivät riipu z:sta:

$$\begin{aligned} & \iint \frac{\partial \phi_i}{\partial x} K(h) \frac{\partial}{\partial x} \left( \sum_{j=1}^M h_j(t) \phi_j \right) dx dz + \\ & \iint \frac{\partial \phi_i}{\partial z} K(h) \frac{\partial}{\partial z} \left( \sum_{j=1}^M h_j(t) \phi_j \right) dx dz + \\ & \iint \frac{\partial \phi_i}{\partial z} K(h) dx dz + \iint c(h) \phi_i \frac{\partial}{\partial t} \left( \sum_{j=1}^M h_j(t) \phi_j \right) dx dz \\ & = \int_{\Gamma} \phi_i K(h) \nabla \hat{H} \cdot ds \bar{n} \quad (7) \\ & \quad (i = 1, \dots, M) \end{aligned}$$

Määritellään NEUMANIN ym. (1975) tavoin:

$$\iint c(h) \phi_i \frac{\partial h}{\partial t} dx dz = \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)_i \iint c(h) \phi_i dx dz$$

Näin saadaan yhtälöryhmä:

$$\begin{aligned} A_{ij} h_j(t) + F_i \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)_i &= -B_i + Q_i \quad (8) \\ (i, j &= 1, \dots, M) \end{aligned}$$

tuntemattomina  $h$ :n arvot, missä

$$A_{ij} = \iint \left( \frac{\partial \phi_i}{\partial x} K(h) \frac{\partial \phi_j}{\partial x} + \frac{\partial \phi_i}{\partial z} K(h) \frac{\partial \phi_j}{\partial z} \right) dx dz \quad (9)$$

$$F_i = \iint C(h) \phi_i dx dz \quad (10)$$

$$B_i = \iint K(h) \frac{\partial \phi_i}{\partial z} dx dz \quad (11)$$

$$Q_i = \int_{\Gamma} (\phi_i K(h) \nabla \hat{H}) \cdot ds \bar{n} \quad (12)$$

Pintaintegraalit  $A$ ,  $F$  ja  $B$  laskettiin elementti kerrallaan. NEUMAN ym. (1975) pitivät kussakin elementissä kyllästetyn maan läpäisykyvyn vakiona. Solmun suhteellinen vedenjohtokyky eli todellinen johtokyky jaettuna kyllästetyn maan johtokyvyllä saatiin laskemalla solmun potentiaalin avulla. Elementin sisällä johtokyvyn likiarvo saadaan solmujen suhteellisista johtokyvyyistä muotofunktioiden avulla lineaarisena yhdistelmänä:

$$K = K^S \sum_{l=1}^4 K_l^r \phi_l \quad (13)$$

missä  $K^S$  = kyllästetyn maan vedenjohtokyky elementissä cm/h

$K_l^r$  = potentiaalin perusteella lasketut suhteelliset  
vedenjohtokyvyyt elementin kulmissa

$\phi_l$  = elementin 4 muotofunktiota

Suhteellisen johtokyvyn määrittäminen koemalle on esitetty liitteessä 2.



Koska tässä tutkimuksessa koekenttien toimintaa tarkasteltiin kosteissa oloissa maaveden potentiaalin ollessa yli  $-100$  cm ja eri kerrosten suurten huokosten tilavuus vaihteli suuresti, käytettiin kunkin elementin sisällä omaa  $C(h)$ -funktiota. Tällöin meneteltiin samalla tavalla kuin  $K$ -arvon laskemisessa:

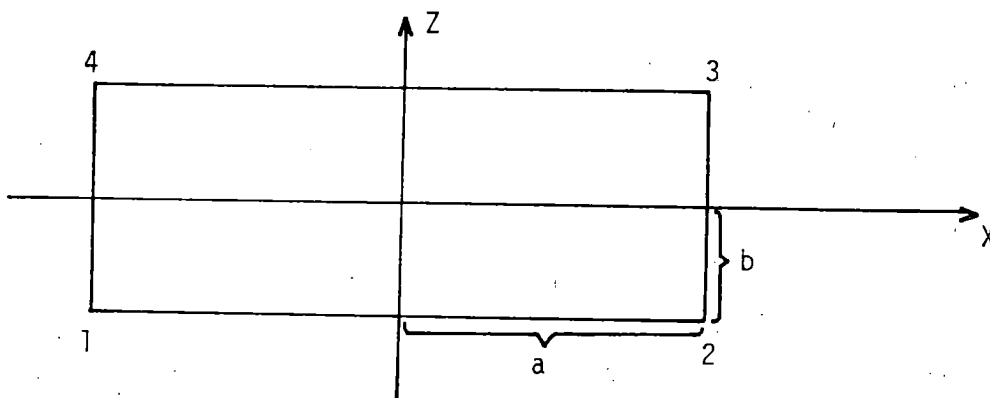
$$C = C^S \sum_{l=1}^4 C_{l1}^r \phi \quad (14)$$

missä  $C^S =$  suurten huokosten tilavuus maassa  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$

$C_{l1}^r =$  vedenpidätyskäyrän yleistä muotoa kuvaavan  
 $l$  käyrän derivaatta. Selitetty tarkemmin liitteessä 2.

### Pintaintegraalin laskeminen

Pintaintegraalit (9) - (11) laskettiin elementteittäin. Kertoimet  $A$ ,  $F$  ja  $B$  saadaan laskemalla yhteen elementtien sisällä saadut integraalit. Muotofunktiot elementissä esitettyinä lokaalisten koordinaattien avulla (kuva 2) ovat:



Kuva 2, liite 1

$$\phi_1^e(x, z) = 1/4 (1 - x/a)(1 - z/b)$$

$$\phi_2^e(x, z) = 1/4 (1 + x/a)(1 - z/b)$$

$$\phi_3^e(x, z) = 1/4 (1 + x/a)(1 + z/b) \quad (15)$$

$$\phi_4^e(x, z) = 1/4 (1 - x/a)(1 + z/b)$$

Esimerkiksi kerroin  $A_{ij}$  lasketaan integraalista:

$$A_{ij} = \sum_e \iint \left[ \frac{\partial \phi_i^e}{\partial x} K(h) \frac{\partial \phi_j^e}{\partial x} + \frac{\partial \phi_i^e}{\partial z} K(h) \frac{\partial \phi_j^e}{\partial z} \right] dx dz$$

$$= \sum_e \iint \frac{\partial \phi_i^e}{\partial x} K^s \left( \sum_{l=1}^4 K_{ll} \phi_l^e \right) \frac{\partial \phi_j^e}{\partial x} + \dots dx dz \quad (16)$$

Integraaleissa esiintyvät muotofunktioiden derivaatat ovat:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \phi_1^e}{\partial x} &= 1/4(-1/a)(1 - z/b) & \frac{\partial \phi_1^e}{\partial z} &= 1/4(-1/b)(1 - x/a) \\
 \frac{\partial \phi_2^e}{\partial x} &= 1/4(1/a)(1 - z/b) & \frac{\partial \phi_2^e}{\partial z} &= 1/4(-1/b)(1 + x/a) \\
 \frac{\partial \phi_3^e}{\partial x} &= 1/4(1/a)(1 + z/b) & \frac{\partial \phi_3^e}{\partial z} &= 1/4(1/b)(1 + x/a) \\
 \frac{\partial \phi_4^e}{\partial x} &= 1/4(-1/a)(1 + z/b) & \frac{\partial \phi_4^e}{\partial z} &= 1/4(1/b)(1 - x/a)
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

Integraalien laskeminen yksinkertaistuu muodostettaessa uudet muuttujat

$$\begin{aligned}
 \xi &= x/a & \text{ja} & & \eta &= z/b & \text{koska} \\
 \int_{-a}^{+a} \int_{-b}^{+b} f(x,z) dx dz &= ab \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \tilde{f}(\xi, \eta) d\xi d\eta
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Integraalien (16) muodostaminen ja summaaminen tietokoneella on tämän jälkeen helppoa. Esimerkiksi integraalin

$$\iint_e \frac{\partial \phi_i^e}{\partial x} \phi_l^e \frac{\partial \phi_j^e}{\partial x} \tag{19}$$

(i, j, l = 1, ..., 4)

arvon tekijäksi saadaan aina kaavojen (15), (17) ja (18) perusteella

$$\frac{1}{4} \frac{1}{a} \frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{a} a b = (1/4)^3 \frac{b}{a} \quad (20)$$

Etumerkkinä on 1 tai -1 riippuen tulon  $A(i) B(l) C(j)$  arvosta, missä

$A(1) = -1$	$B(1) = 1$	$C(1) = -1$
$A(2) = 1$	$B(2) = 1$	$C(2) = 1$
$A(3) = 1$	$B(3) = 1$	$C(3) = 1$
$A(4) = -1$	$B(4) = 1$	$C(4) = -1$

Toisena tekijänä integraalin arvossa on yhtälöiden (15), (17) ja (18) perusteella:

$$\int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} (1 + D(i))(1 + E(l))(1 + F(j))(1 \pm \xi) d\xi d\eta \quad (21)$$

joka ottaen huomioon, että  $\xi$ :n tai  $\eta$ :n parittoman potenssin määrätyn integraalin arvo on 0, saa muodon:

$$\int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} (1 + (DE + DF + EF) \eta^2) d\xi d\eta = 4 + (DE + DF + EF) 4/3 \quad (22)$$

missä

$D(i=1) = -1$	$E(l=1) = -1$	$F(j=1) = -1$
$D(2) = -1$	$E(2) = -1$	$F(2) = -1$
$D(3) = 1$	$E(3) = 1$	$F(3) = 1$
$D(4) = 1$	$E(4) = 1$	$F(4) = 1$

Kun  $i, j$  ja  $l$ :n arvoina on esimerkiksi 1, saa integraali (19) arvon:

$$1 \cdot (1/4)^3 \frac{b}{a} (1 + 1 + 1) (4/3)$$

missä  $b = 1/2$  elementin korkeudesta

$a = 1/2$  elementin pituudesta

Kaikki pintaintegraalit laskettiin käyttäen edellä esitettyä tekniikkaa.

#### Tarkasteltavan alueen reunat

Integraalissa (6)

$$Q_i = \int_{\Gamma} \phi_i K(h) \nabla \hat{H} \cdot ds \bar{n} \quad (6)$$

osa  $K(h) \nabla \hat{H} \cdot ds \bar{n}$  esittää kohtisuoraan reunan yli tapahtuvaa virtausta. Maan pinnan poikki virtaa vettä sateen tai haihtumisen aikana. Haihtumista ei kuitenkaan otettu huomioon, koska tarkasteltiin ojien toimintaa sateisena ajanjaksona. Integraali (6) saa maan pinnalla yhden elementin reunan  $L$  yli arvon:

$$q \int_L \phi_i ds \quad (23)$$

Maan pinnalla olevan solmun  $i$  oikealla puolella muotofunktiona on

$$\phi_i = 1/4 (1 - x/a)(1 + 1) \quad ; z = b$$

ja  $i$ -solmun vasemmalla puolella

$$\phi_i = 1/4 (1 + x/a)(1 + 1)$$

jolloin integraalin (6) arvoksi tulee

$$Q = q \left( \frac{1}{2} L_{\text{vasen}} + \frac{1}{2} L_{\text{oikea}} \right) \quad (24)$$

Jos maan pinnalle annetaan ajan suhteen vakio potentiaali, ei integraalin (6) arvoa yhtälöryhmässä (8) tarvitse laskea, koska potentiaalinvuorot maan pintaan rajoittuvissa solmuissa  $i$  tiedetään ja vastaavat yhtälöt ryhmästä (8) voidaan jättää pois. Samasta syystä ei tarvita tietoa integraalin (6) arvosta salaojasoraan rajoittuvalla reunalla. Muissa osissa integraali (6) häviää, koska  $q:n$  arvo on 0.

Ajan  $t$  suhteen muuttuvan systeemin laskeminen

Yhtälöstä (8) muodostetaan differenssiyhtälö:

$$A_{ij}^{t+1/2} \frac{(h_j^{t+1} + h_j^t)}{2} + F_i^{t+1/2} \frac{(h_j^{t+1} - h_j^t)}{\Delta t} = -B_i^{t+1/2} + Q_i^{t+1/2}$$

$$(A_{ij}^{t+1/2} + \frac{2}{\Delta t} F_i^{t+1/2}) h_j^{t+1} = -2 B_i^{t+1/2} + 2 Q_i^{t+1/2}$$

$$-(A_{ij}^{t+1/2} - \frac{2}{\Delta t} F_i^{t+1/2}) h_j^t \quad (25)$$

$$(i, j = 1, \dots, M)$$

Tehtävänä on ratkaista arvot  $h^{t+1}$ , kun tunnetaan  $h^t$ . Kerroinmatriisien laskemisessa käytettiin iterointia: ensimmäisessä iteraatiokierroksessa käytettiin integraalien laskuun arvoja  $h^t$  ja yhtälöryhmä ratkaistiin KARVOSEN (1988) tapaan eksplisiittisesti. Tällöin  $F$  - integraaleja varten  $C(h)$ -arvot laskettiin derivoimallaan vedenpidätyskäyrä. Saatujen potentiaalien avulla laskettiin:

$$h^{t+1/2} = 1/2 (h^t + h^{t+1}), \quad (26)$$

joita käytettiin seuraavalla kierroksella uusien  $A$ ,  $F$  ja  $B$  integraalien laskentaan. Toisesta integraatiokierroksesta eteenpäin  $C(h)$ -arvoina ei käytetty vedenpidätyskäyrän derivaattaa, vaan KARVOSEN (1988) tavoin

$$C_{t+1/2} = \frac{W_{t+1} - W_t}{h_{t+1} - h_t} \quad (27)$$

Yhtälöryhmä (25) ratkaistiin ylirelaksaatiomenetelmällä. Integraalien arvojen iteroinnissa oli eksplisiittisen menetelmän jälkeen kierrosmäärä 5.

#### Ajasta riippumaton systeemi

Jos maan vesipitoisuus ei muutu ajan suhteen,  $W^{t+1} - W^t = 0$ , jolloin integraali  $F$  häviää. Potentiaalit  $h$  saadaan ratkaisemalla yhtälöryhmä

$$A_{ij} h_j = -B_i + Q_i \quad (28)$$

Ennen varsinaista laskentaa elementtien kokoa muunneltiin siten, että lähellä salaojasoraa ja täytemaassa elementtien koot olivat kuvassa 1 esitettyjä pienempiä. Vertailulaskennat kuitenkin osoittivat, että tulokset eivät muutu elementtikoon pienentämisen johdosta. Ilmeisesti elementtikoko lähellä ojaa, missä kohdin po-

tentiaali muuttuu jyrkimmin, on riittävän pieni. Käytettyä elementtimenetelmää verrattiin ZARADNYN ja FEDDESIN (1979) käyttämään. Kaivuuleveys ja ympäröivän korkeus muutettiin 5 cm:ksi, joka vastaa salaojaputken läpimittaa ZARADNYN ja FEDDESIN laskennassa. Vakiosademäärät pidettiin 0.1, 0.05 ja 0.01 kertaisina kylästetyn maan vedenläpäisykyvystä ja maalle annettiin samat vedenpidätysominaisuudet kuin ZARADNYN ja FEDDESIN esimerkkimaassa. Riippumatta lähtökosteuksista saatiin riittävän pitkän ajanjakson kuluessa tulokseksi maassa tasapaino, jossa pohjaveden pinnan korkeudet poikkesivat ZARADNYN ja FEDDESIN saamista alle 1.0 cm.

Aikaisemmin salaojajärjestelmien laskentaan käytettiin kokeissamme differenssimenetelmää. Potentiaalitenttiä laskettiin vain vedellä kyllästettyyn osaan systeemiä. Vapaan veden pinnan alenemiseen maassa kullakin aika askeleella laskettiin potentiaalitentän perusteella (KIRKHAM ja GASKELL 1950, REMSON ym. 1971 s. 148). Koska tässä menetelmässä veden oletetaan virtaavan vain kyllästetyssä osassa maata, tulokseksi saadaan usein hitaampi maan kuivuminen kuin ottamalla huomioon veden liikkuminen kyllästämättömässä maassa (vert. STEPHENS ja NEUMAN 1982). Kuvassa 3 on verrattu elementtilaskennalla saatua tulosta differenssimenetelmällä saatuun. Elementtimenetelmän tulos osoittaa alunperin vedellä täysin kylästetyn maan suunnilleen yhtä nopeaa kuivumista verrattuna differenssimenetelmällä saatuun tulokseen. Elementtimenetelmässä käytettiin liitteessä 2 esitettyjen kaavojen (3) ja (6) sijasta menetelmien vertailussa kaavoja

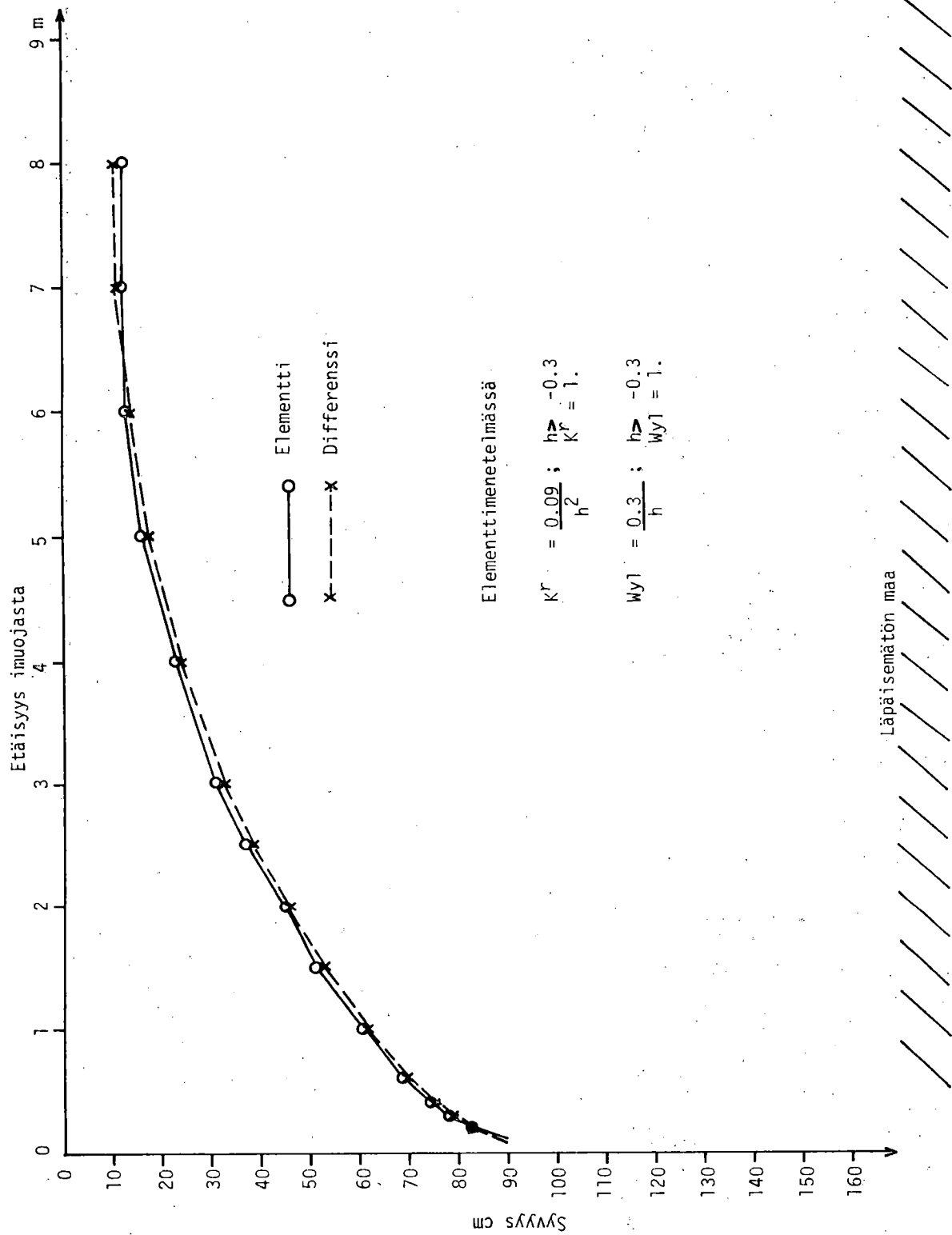
$$W_{y1} = \frac{-0.3}{h}$$

$$\text{Kun } h > -0.3 \text{ cm, } W_{y1} = 1 \quad \text{ja}$$

$$\frac{r}{K_1} = \frac{0.09}{h^2}$$

$$\text{Kun } h > -0.3 \text{ cm, } \frac{r}{K_1} = 1$$





Kuva 3, liite 1

Näin menetellen jyrkennettiin rajaa kyllästetyn ja kyllästämättömän maan välillä. Vesipitoisuuden ja vedenjohtokyvyn vahvasti epälineaarinen riippuvuus maaveden potentiaalista ilmeisesti aiheuttaa virheen laskennassa. Lineaariset muotofunktiot antavat elementille keskimääräisesti liian korkean vedenjohtokyvyn. Tämän vuoksi virhetuloksena voi olla liian nopea maan kuivuminen, jos elementtien koko on liian suuri. Differenssimenetelmässä, jossa oletetaan veden liikkuvan vain kyllästetyssä osassa maata, voidaan saada virheelliseksi tulokseksi liian hidas maan kuivuminen.

## LIITE 2

Vedenpidätyskapasiteetti C ja suhteellinen vedenjohtokyky K

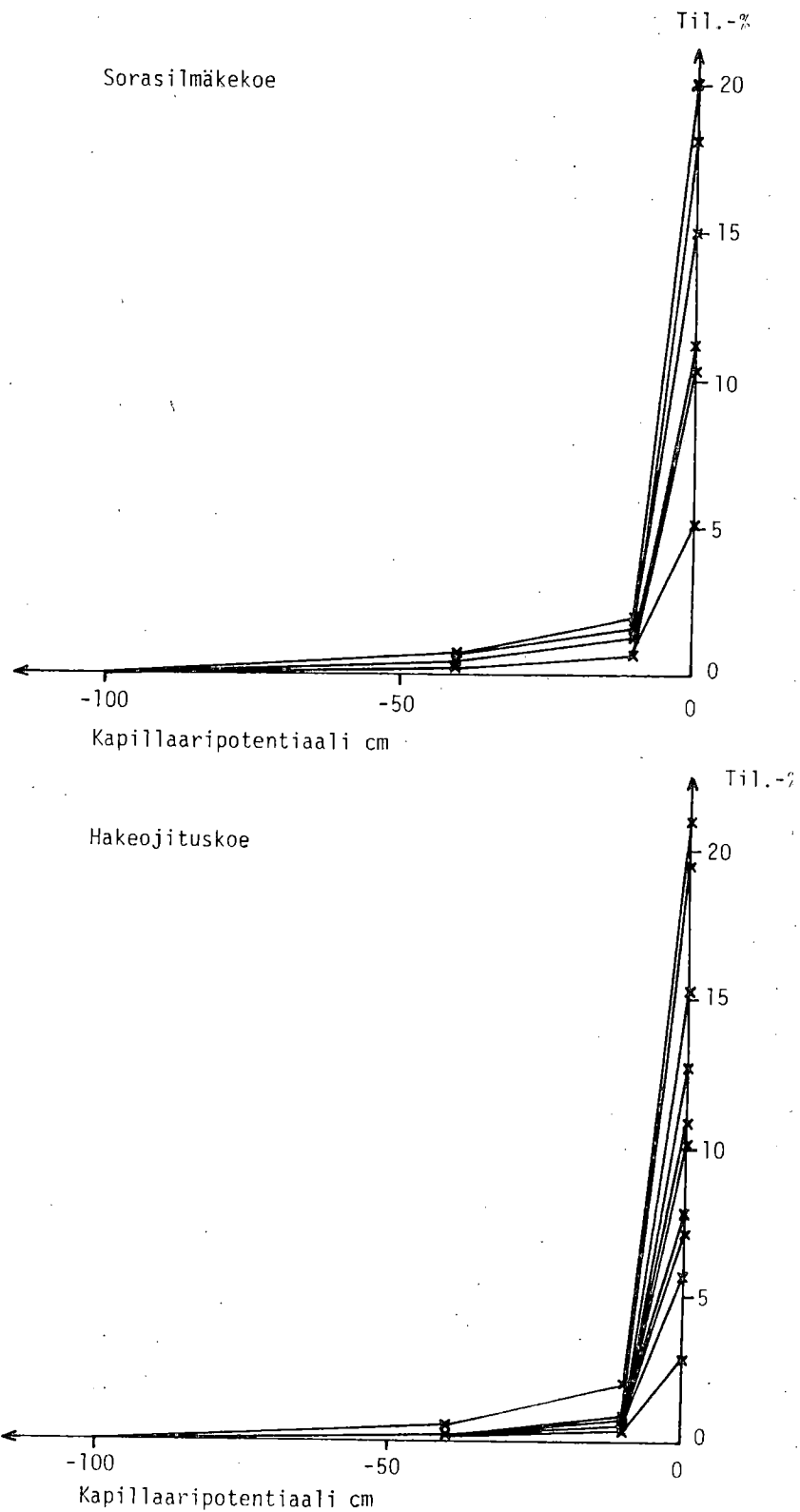
Liitteen 1 mukaisesti määritellään differentiaalinen vedenpidätyskapasiteetti C maan vedenpidätyskäyrän derivaattana  $dW/dh$  tai lausekkeella:

$$C_{t+1/2} = \frac{W_{t+1} - W_t}{h_{t+1} - h_t} \quad (1)$$

missä  $W_{t+1}$  ja  $W_t$  ovat maan vesipitoisuudet  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  aikana  $t+1$  ja  $t$  ja vastaavat maaveden kapillaaripotentialit  $h_{t+1}$  ja  $h_t$ .

Maan vedenpidätyskäyrät välillä 0 - -100 cm määritettiin vuonna -88 salaojakokeiden 2 ja 4 näytteille. Osoittautui kuitenkin, että näytteille, joiden kyllästetyn maan vedenjohtokyky oli hyvin alhainen, ei voitu luotettavasti määrittää vedenpidätyskäyrää. Tulokset saatiin 8 näytteeestä 2. kokeesta ja 12 näytteeestä 4. kokeesta (kuva 1). Kuten aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu (AURA 1983), savimaan hiukankin kuivuessa tyhjenevät vedestä suuret halkeamat, lierojen tekemät reiät ja osa juurikanavista. Lähestyttäessä potentiaalia -100 cm maan vesipitoisuuden pieneneminen hidastuu suuresti. Kyllästetyn maan ja kenttäkapasiteetin ( $h = -100$  cm) välillä vedenpidätystä kuvattiin yleisesti seuraavalla tavalla: välillä 0 - -100 cm maahan pidättyvää vesimäärää merkittiin 1:llä. Pidätyskäyrän yleinen muoto (välillä 0 - -100 cm) laskettiin koemalle saaduista keskimääräisistä tuloksista pienimmän n.s.:n menetelmällä. Tulokseksi saatiin:

$$W_{y1} = 0.867 e^{0.0512 h} + \text{vakio} \quad (2)$$



Kuva 1, liite 2. Vesipitoisuuden väheneminen koemaissa kapillaaripotentialin pienentyessä 0:sta - 100 cm:iin.

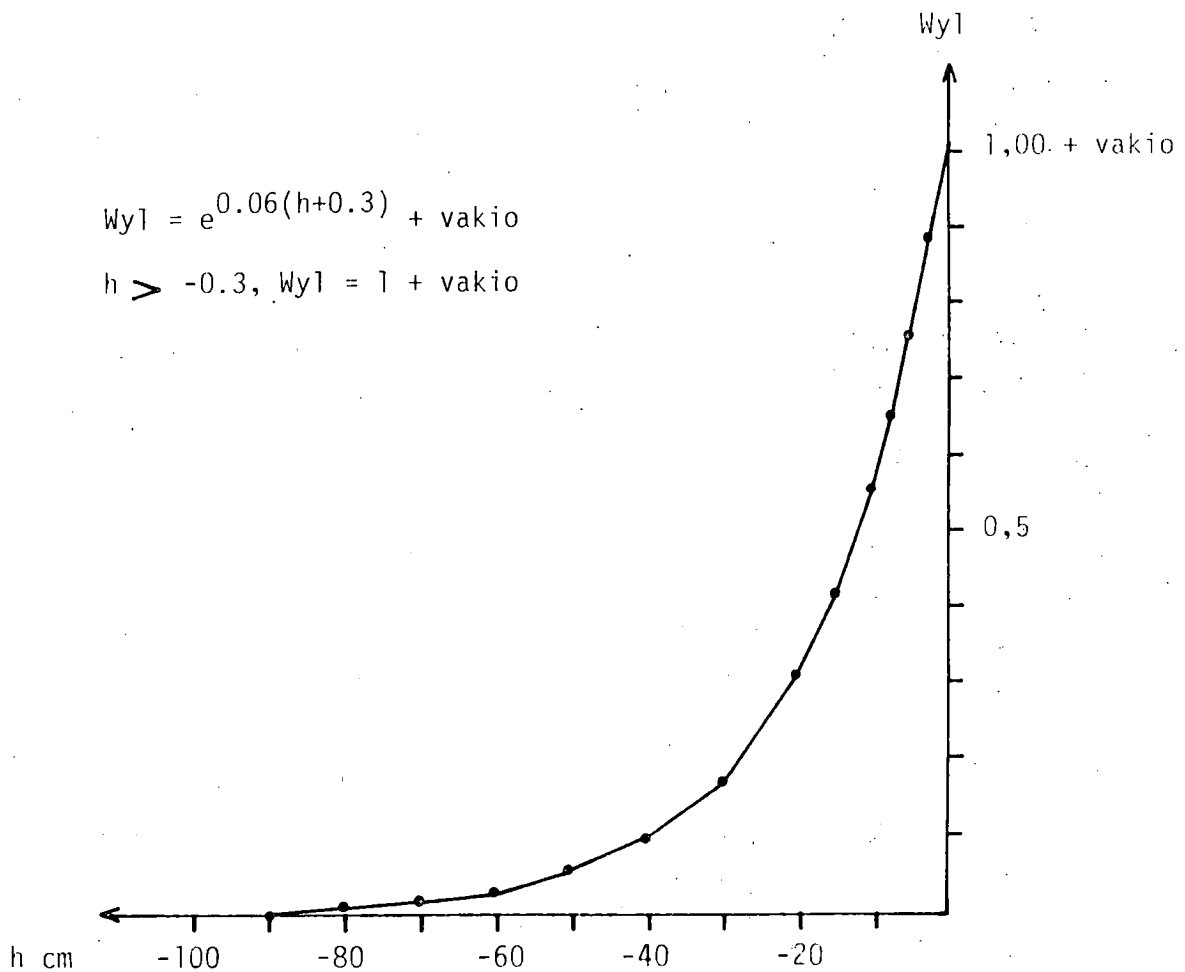
Maan suurimpien huokosten läpimitaksi oletettiin 1 cm, jolloin maa on kyllästetty vedellä potentiaalissa  $-0.3$ . Yhtälöä muutettiin hiukan siten, että yhtälön etuosa saa potentiaalissa  $-0.3$  arvon 1:

$$w_{yl} = e^{0.06(h + 0.3)} + \text{vakio}$$

$$\text{Kun } h > -0.3 \text{ cm, } w_{yl} = 1 + \text{vakio} \quad (3)$$

Yhtälöä (3) käytettiin kaikkien koemaiden vedenpidätyksen yleiseen kuvaamiseen välillä  $h = -0.3 - -100$  cm (kuva 2). Todellinen vedenpidätyskäyrä yleisestä saadaan kaavalla:

$$w = w^s w_{yl} \quad (4)$$



Kuva 2, liite 2.

missä  $W^s$  = kyllästetystä maasta poistunut vesimäärä  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ,  
kun veden potentiaali alennetaan  $-100 \text{ cm}$ :iin,  
eli suurten huokosten tilavuus maassa.

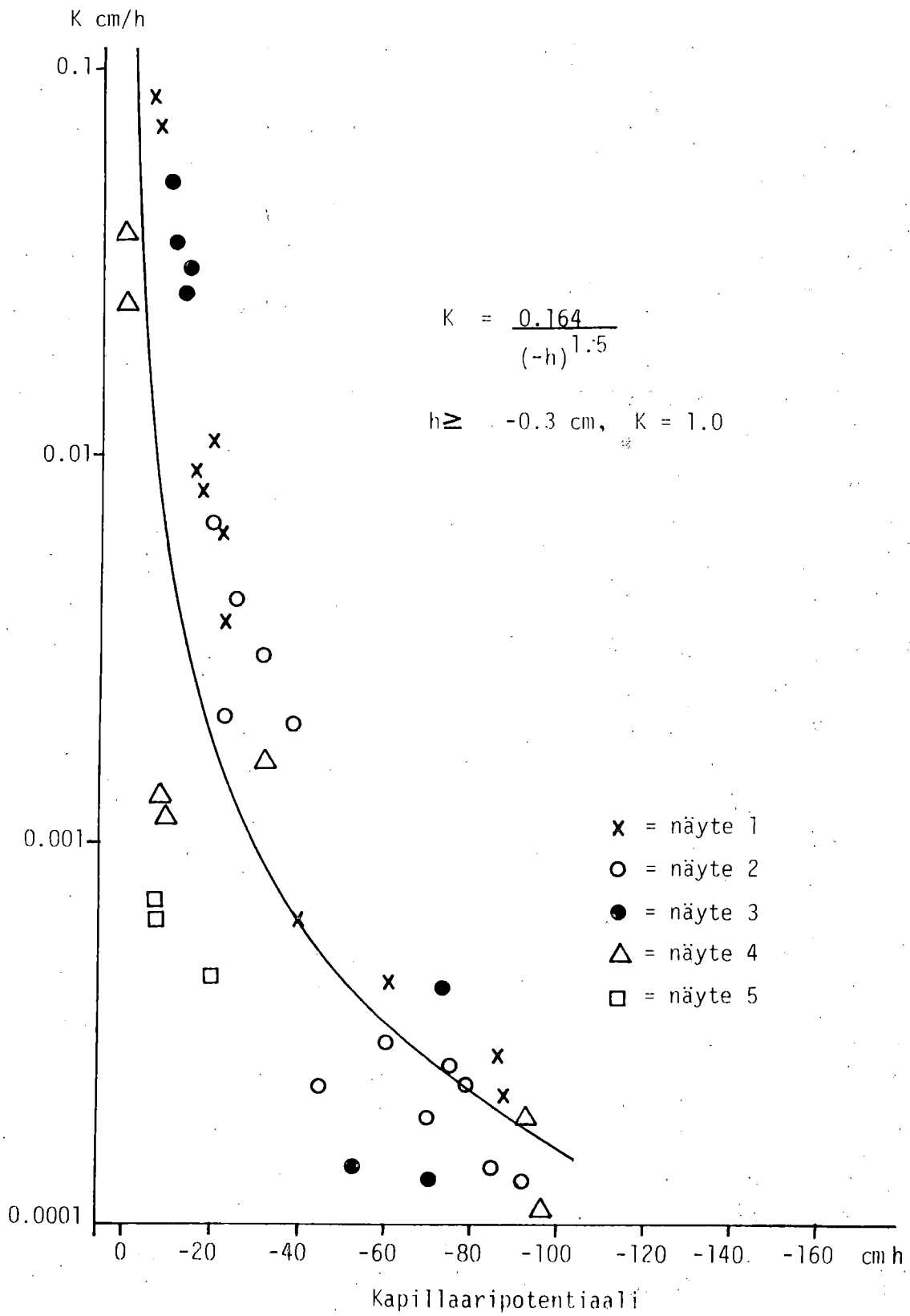
Sijoittamalla (4) yhtälöön (1) saadaan:

$$C_{t+1/2} = W^s \frac{W_{t+1} - W_t}{h_{t+1} - h_t} \quad (5)$$

Maan vedenjohtokyky  $\text{cm/h}$  eri potentiaaleissa on esitetty kuvassa  
3. Suhteellista vedenjohtokykyä esittämään valittiin yhtälöt:

$$K_1^r = \frac{0.1643}{1.5(-h)} \quad (6)$$

$$\text{Kun } h > -0.3 \text{ cm, } K_1^r = 1$$



Kuva 3, liite 2. Vedenjohdokyvyn riippuvuus kapillaaripotentialista.

Läpäisykyvyn laskeminen kolomittausten perusteella elementti-  
menetelmää käyttäen

Liitteen 1 mukaisesti maaveden potentiaalin muutosta maassa kuvaa yhtälö:

$$\nabla \cdot [K(H) \nabla H] - C(H) \frac{\partial H}{\partial t} = L(H) = 0 \quad (1)$$

Tuntematon funktio  $H$  korvataan likimääräisellä ratkaisulla, joka on elementtien muotofunktioiden lineaarinen yhdistelmä:

$$\hat{H} = \hat{h} + z \quad (2)$$

$$\hat{h} = \sum_{i=1}^M \hat{h}_i(t) \phi_i(r, z) \quad (3)$$

Sylinterisymmetrian vuoksi kapillaaripotentiali riippuu ajan lisäksi vain korkeuskoordinaatista  $z$  ja etäisyydestä  $r$  sylinterin akselista. Syntynyt virhe  $R$  on:

$$R = L(\hat{H}) \quad (4)$$

Tehtävänä on löytää sellaiset  $h$ :n arvot, että kolon ulkopuolella olevassa maassa tilavuusintegraali

$$\langle L \hat{H}(r, z, t), \phi_i(r, z) \rangle = 0 \quad (5)$$

( $i = 1, \dots, M$ )



Sylinterikoordinaatistossa tilavuusalkio on

$$dV = dr r d\varphi dz \quad (6)$$

missä  $\varphi$  ilmaisee sylinterin akselin pyörähdyskulmaa. Ensin integroidaan  $\varphi$  suhteen, josta  $H$  ei ole riippuvainen. Määrätyn integraalin kertoimeksi tulee 2, joka voidaan supistaa pois. Jäljelle jää (6):sta  $r dr dz$ . Tasaisesti muuttuvan  $r$ :n sijasta käytetään kunkin elementin kohdalla keskimääräistä  $r$ :n arvoa  $\bar{r}$

$$\bar{r}_e = \iint r dr dz / \iint dr dz, \quad (7)$$

joka on sylinterin akselin etäisyys suorakaiteen muotoisen elementin keskipisteeseen.

Yhtälöryhmässä

$$A_{ij} h_j(t) + F_i \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)_i = -B_i \quad (8)$$

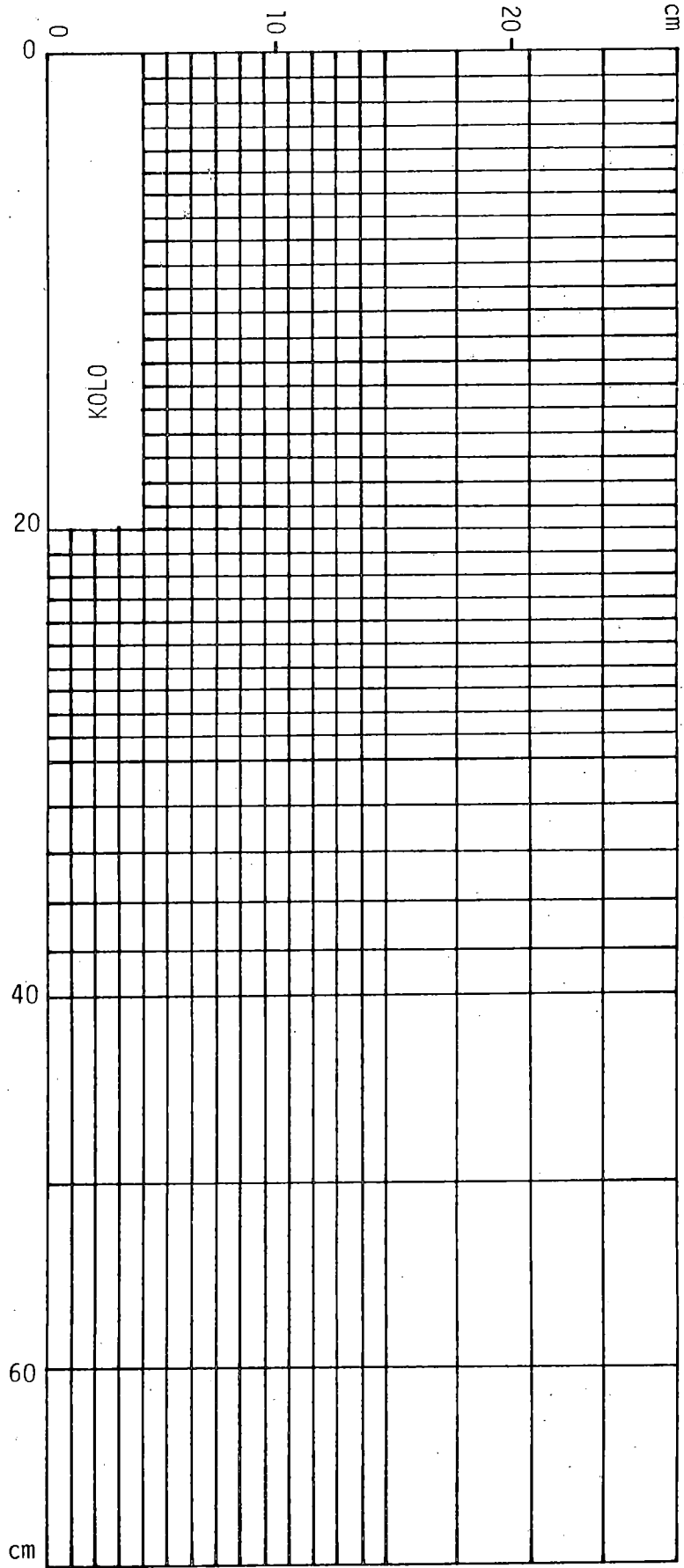
integraalit ovat samat kuin liitteessä 1, mutta kerrottuina  $\bar{r}_e$  llä:

$$A_{ij} = \sum_e \bar{r}_e \iint_e \left( \frac{\partial \phi_i^e}{\partial x} K(h) \frac{\partial \phi_i^e}{\partial x} + \frac{\partial \phi_i^e}{\partial z} K(h) \frac{\partial \phi_i^e}{\partial z} \right) dr dz$$

$$F_i = \sum_e \bar{r}_e \iint_e C(h) \phi_i^e dr dz$$

$$B_i = \sum_e \bar{r}_e \iint_e K(h) \frac{\partial \phi_i^e}{\partial z} dr dz \quad (9)$$

Elementtijaoitus on esitetty kuvassa 1. Vesipitoisuus potentiaalivälillä 0 - -10 cm saatiin kenttäkokeista tehdyistä määrittämisistä (huokokset  $\varnothing > 0.3$  mm). Läpäisykyvyn K ja suurimpien huokosten tiilavuuden välille laskettiin regressioyhtälöksi  $\log K = 0.2784$  huok.-% - 1.342 selityksasteen ollessa 60.4 %. Näytteiden lukumäärä oli 129. Läpäisykyvyn ollessa alle 1 cm/h käytettiin toista regressioyhtälöä, joka oli saatu ottamalla huomioon vain ne näytteet, joiden K on mittausten mukaan alle 10 cm/h. Yhtälön muoto on  $\log K = 0.3489$  huok.-% - 1.896 ja selityksaste 47.0 %. Näytteiden lukumäärä oli 101. Suurimmat huokokset K-arvolle 0.01 cm/h saatiin jakamalla K:n arvoa 0.05 cm/h vastaava huokostilavuus 1.70 % kahdella. Vesipitoisuuden ja vedenjohtokyvyn yleinen riippuvuus maaveden potentiaalista on esitetty liitteessä 2.



Kuva 1, liite 3

Liitetaulukko 1a. Salaojan kaivuuleveys- ja sorastuskoe. Lämpäisy-  
kyky ja hyvin suuret huokokset ( $\phi > 0.3$  mm) ojien  
välissä. Laboratoriomittaus.

Kerranne	Syvyys cm	Hyvin suuret	
		K cm/h	huokokset %
I	0 - 15	225.5	9.2
	15 - 35	0.022	1.3
	35 - 55	0.027	2.4
I	0 - 15	106.1	11.1
	15 - 35	0.0	0.6
	35 - 55	0.011	1.3
I	0 - 15	191.0	10.7
	15 - 35	0.0	1.2
	35 - 55	0.0066	1.3
I	0 - 15	90.8	8.5
	15 - 35	0.010	1.4
	35 - 55	0.029	1.0
I	0 - 15	90.8	8.5
	15 - 35	0.010	1.4
	35 - 55	0.020	1.1
I	0 - 15	1.15	4.5
	15 - 35	0.42	3.2
	35 - 55	0.0087	0.7
II	0 - 15	51.1	5.7
	15 - 35	0.033	0.9
	35 - 55	0.0	1.1
II	0 - 15	63.3	8.9
	15 - 35	0.0	0.6
	35 - 55	0.0	1.0
II	0 - 15	120.8	10.4
	15 - 35	0.033	1.5
	35 - 55	0.0049	1.1
III	0 - 15	56.3	5.6
	15 - 35	0.0047	1.2
	35 - 55	0.039	0.8
III	0 - 15	59.1	10.1
	15 - 35	0.11	2.2
	35 - 55	0.012	0.9
III	0 - 15	33.7	9.3
	15 - 35	0.010	1.7
	35 - 35	0.040	2.3

Liitetaulukko 1b. Salaojan kaivuuleveys- ja sorastuskoe. Löpäisy-  
kyky ja hyvin suuret huokokset ( $\phi > 0.3$  mm)  
kaivannossa. Laboratoriomittaus.

Kerranne	Syvyys cm	K cm/h	Hyvin suuret huokokset %
I	0 - 15	70.4	5.5
	15 - 35	2.1	4.2
	35 - 55	0.0	0.6
I	0 - 15	184.8	7.7
	15 - 35	2.0	4.3
	35 - 55	0.15	2.5
I	0 - 15	115.7	12.0
	15 - 35	1.2	3.4
	35 - 55	0.80	1.5
I	0 - 15	78.5	4.9
	15 - 35	0.091	1.6
	35 - 55	0.015	1.2
I	0 - 15	81.4	9.7
	15 - 35	0.0083	1.2
	35 - 55	0.020	1.1
I	0 - 15	1.40	11.2
	15 - 35	0.056	1.5
	35 - 55	0.021	0.9
II	0 - 15	106.7	11.8
	15 - 35	0.19	3.0
	35 - 55	0.0088	1.2
II	0 - 15	11.4	10.7
	15 - 35	0.044	1.3
	35 - 55	0.0	1.1
II	0 - 15	92.4	2.1
	15 - 35	0.041	1.0
	35 - 55	0.0023	0.9
III	0 - 15	192.7	8.8
	15 - 35	0.27	2.3
	35 - 55	0.11	1.7
III	0 - 15	1.20	6.5
	15 - 35	0.47	2.5
	35 - 55	0.038	1.3
III	0 - 15	0.47	6.3
	15 - 35	0.14	1.4
	35 - 55	0.061	1.1

Liitetaulukko 1c. Salaojan kaivuuleveys- ja sörastuskoe. Kai-  
rausmenetelmällä mitatut vedenläpäisykyvyt.

Kerranne	Syvyys cm	Ojien väli K cm/h	Kaivanto K cm/h
I	20 - 40	0.0050	0.50
	40 - 70	0.038	0.36
	70 - 100	0.023	
I	20 - 40	0.014	0.0034
	40 - 70	0.019	
	40 - 100	0.033	
I	20 - 40	0.025	0.47
	40 - 70	0.0043	
	40 - 100	0.021	
I	20 - 40	0.024	0.087
	40 - 70	0.017	1.3
	70 - 100	0.13	
I	20 - 40	0.16	
	40 - 70	0.037	
	70 - 100	0.043	
I	20 - 40	0.10	5.0
	40 - 70	0.027	2.8
	70 - 100	0.081	
II	20 - 40	0.014	0.10
	40 - 70	0.086	1.5
	70 - 100	0.11	
II	20 - 40	0.028	0.19
	40 - 70	0.011	1.1
	70 - 100	0.068	
II	20 - 40	0.054	0.18
	40 - 70	0.073	0.64
	70 - 100	0.063	
III	20 - 40	0.018	0.18
	40 - 70	0.0	1.8
	70 - 100	0.063	
III	20 - 40	0.034	1.3
	40 - 70	0.0084	0.16
	70 - 100	0.050	
III	20 - 40	0.030	0.0068
	40 - 70	0.021	0.39
	70 - 100	0.042	
I	100 - 200	0.012	
II	100 - 200	0.011	
II	100 - 200	0.0042	
III	100 - 200	0.0097	

Liitetaulukko 2. Sorasilmäkeko. Lämpäisykyvyt ja hyvin suuret huokokset ( $\phi > 0.3$  mm).

Kerranne	Syvyys	Hyvin suuret		Mittaustapa	
		K cm/h	huokokset %		
-----					
Ojien väli					
I	0 - 25	92.1	6.6	Laboratorio	
	25 - 35	5.0	5.3	"	
	35 - 55	1.6	2.9	"	
	0 - 25	77.3	10.4	"	
	25 - 55	0.016	0.04	"	
	100 - 200	0.0075		Kairaus	
	II	0 - 25	20.0	9.7	Laboratorio
		25 - 35	0.043	1.3	"
		35 - 55	0.028	0.7	"
0 - 25		92.5	11.6	"	
25 - 55		0.025	0.0	"	
100 - 200		0.014		Kairaus	
III		0 - 25	101.3	12.0	Laboratorio
		25 - 35	0.032	1.3	"
		35 - 55	0.052	2.5	"
	0 - 25	0.069	0.59	"	
	25 - 55	0.012	0.12	"	
	100 - 200	0.013		Kairaus	
	IV	0 - 25	99.4	13.0	Laboratorio
		25 - 35	1.9	7.6	"
		35 - 55	0.011	0.9	"
0 - 25		36.9	7.7	"	
25 - 55		0.0	0.01	"	
100 - 200		0.029		Kairaus	
Kaivanto					
I		0 - 25	42.5	8.6	Laboratorio
		25 - 50	5.2	4.1	"
II	0 - 25	93.3	12.2	"	
	25 - 50	2.3	2.8	"	
III	0 - 25	0.023	0.28	"	
	25 - 50	0.014	0.003	"	
IV	0 - 25	14.2	6.4	"	
	25 - 50	0.021	0.12	"	

Liitetaulukko 3a. Entisen salaojituksen tehostaminen. Lämpäisykyky ja hyvin suuret huokokset ( $\phi > 0.3$  mm).  
Laboratoriomittaus.

Ojien väli		Hyvin suuret huokokset %
Syvyys cm	K cm/h	
0 - 35	179.	30.2
35 - 55	0.070	2.9
0 - 35	183.	24.8
35 - 55	0.050	2.4
0 - 35	60.3	23.4
35 - 55	0.81	2.9
0 - 35	180.	29.1
35 - 55	0.059	4.7

## Kaivanto

Vanhat ojat			Uudet ojat	
Syvyys cm	K cm/h	Hyvin suuret huokokset	K cm/h	Hyvin suuret huokokset
0 - 35	184.	6.9	358.	9.2
35 - 55	0.27	1.7	0.052	1.2
0 - 35	419.	9.6	219.	8.7
35 - 55	0.011	0.8	0.020	1.3
0 - 35	268.	9.1	175.	10.1
35 - 55	168.	5.1	106.	9.0
0 - 35	360.	10.1	206.	6.4
35 - 55	0.50	2.2	3.5	3.1
0 - 35	226.	6.7	90.5	6.0
35 - 55	18.1	4.1	1.2	4.8
0 - 35	151.	5.6	31.2	4.7
35 - 55	1.74	3.3	15.6	5.0



Liitetaulukko 3b. Entisen salaojan tehostaminen. Kairausmenetelmällä ojien välistä mitatut läpäisykyvyt.

Syvyys cm	K cm/h
40 - 70	0.42
70 - 100	0.63
40 - 60	0.80
60 - 100	0.64
40 - 60	0.50
60 - 80	1.30
40 - 60	1.77
60 - 80	0.40
40 - 60	0.66
60 - 80	0.65
40 - 60	1.00
60 - 80	0.29
100 - 200	0.029
100 - 200	0.034
100 - 200	0.0065
100 - 200	0.010

Liitetaulukko 4. Hakekoe. Läpäisykyky ja hyvin suuret huokokset  
( $\phi > 0.3$  mm) ojien välissä.

Kerranne	Syvyys cm	K cm/h	Hyvin suuret huokokset	Lieronreikiä kpl näytteen alapinnassa
-----				
Laboratoriomittaus				
I	0 - 25	47.0	7.7	ei laskettu
	25 - 35	0.72	2.8	"
	35 - 55	0.038	0.21	3
I	0 - 25	142.9	8.0	ei laskettu
	25 - 35	0.54	1.0	0
	35 - 55	0.16	0.075	0
II	0 - 25	105.6	15.3	ei laskettu
	25 - 35	31.8	3.9	21
	35 - 55	0.016	0.0	1
II	0 - 25	195.0	11.3	ei laskettu
	25 - 35	23.6	7.5	6
	35 - 55	0.73	0.41	0
III	0 - 25	168.7	12.2	ei laskettu
	25 - 35	11.0	6.0	10
	35 - 55	0.045	0.17	0
III	0 - 25	110.4	13.5	ei laskettu
	25 - 35	7.1	2.6	5
	35 - 55	12.1	3.6	5
Kairaus				
I	100 - 200	0.031		
II	100 - 200	0.020		
III	100 - 200	0.017		

Liitetaulukko 5. Täydennysojien täyttömateriaalikoeläpäisykyky ja hyvin suuret huokokset ( $\phi > 0.3$  mm) ojien välissä.

## Laboratoriomittaus 1989

Syvyys cm	K cm/h	Hyvin suuret huokokset %	
0 - 20	0.11	5.2	
20 - 55	0.020	1.0	
0 - 20	0.013	1.3	
20 - 55	0.018	1.2	
0 - 20	2.7	10.0	
20 - 55	0.024	1.5	
0 - 20	0.027	3.5	
20 - 55	0.018	1.7	
0 - 20	0.30	6.8	
20 - 55	0.028	1.9	
0 - 20	3.8	7.6	
20 - 55	0.033	1.4	

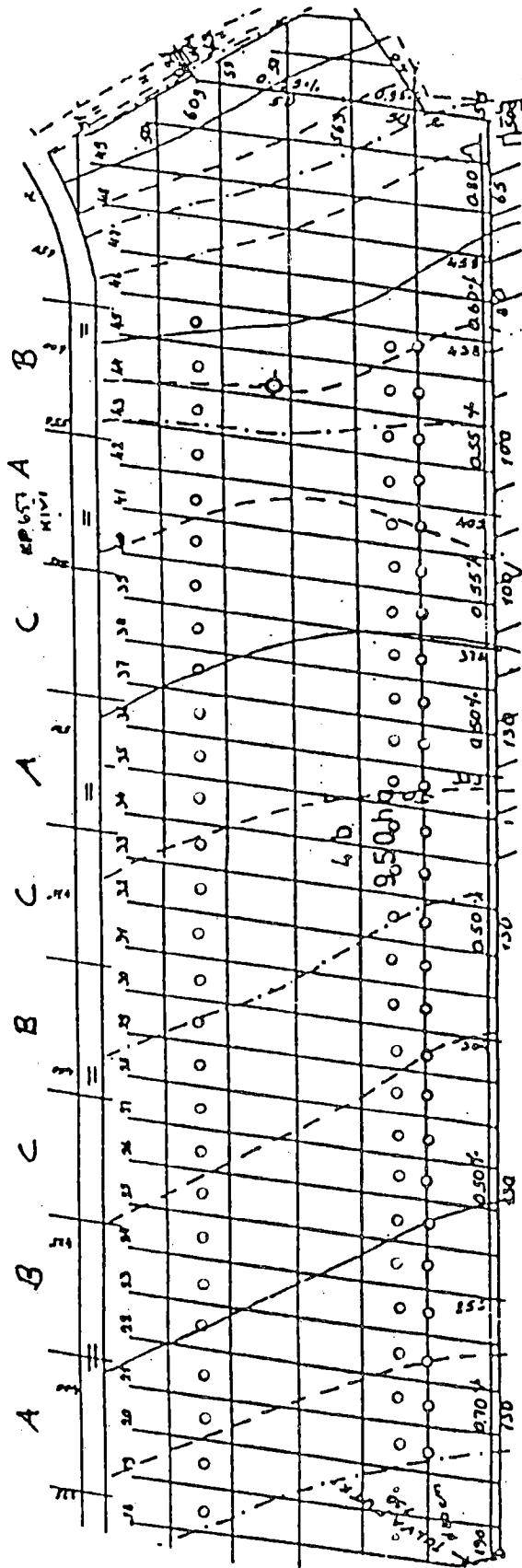
## Infiltrometri 1988

Syvyys cm	K cm/h					
0 - 10	2.6	5.9	10.7	14.0	0.52	1.4
0 - 10	14.2	8.0	9.8	8.0	9.1	5.4
0 - 10	6.3	16.0	3.1	3.5	7.9	5.4

Pohjaveden pinnan alainen mittaus kairausmenetelmällä 1988

Syvyys cm	K cm/h
57 - 105	0.13
62 - 103	0.13
47 - 105	0.08
26 - 103	0.08
40 - 107	0.08
64 - 112	0.06
24 - 106	1.10
18 - 110	0.83
44 - 108	0.18
29 - 105	0.05
52 - 104	0.11
51 - 100	0.15
51 - 110	0.12

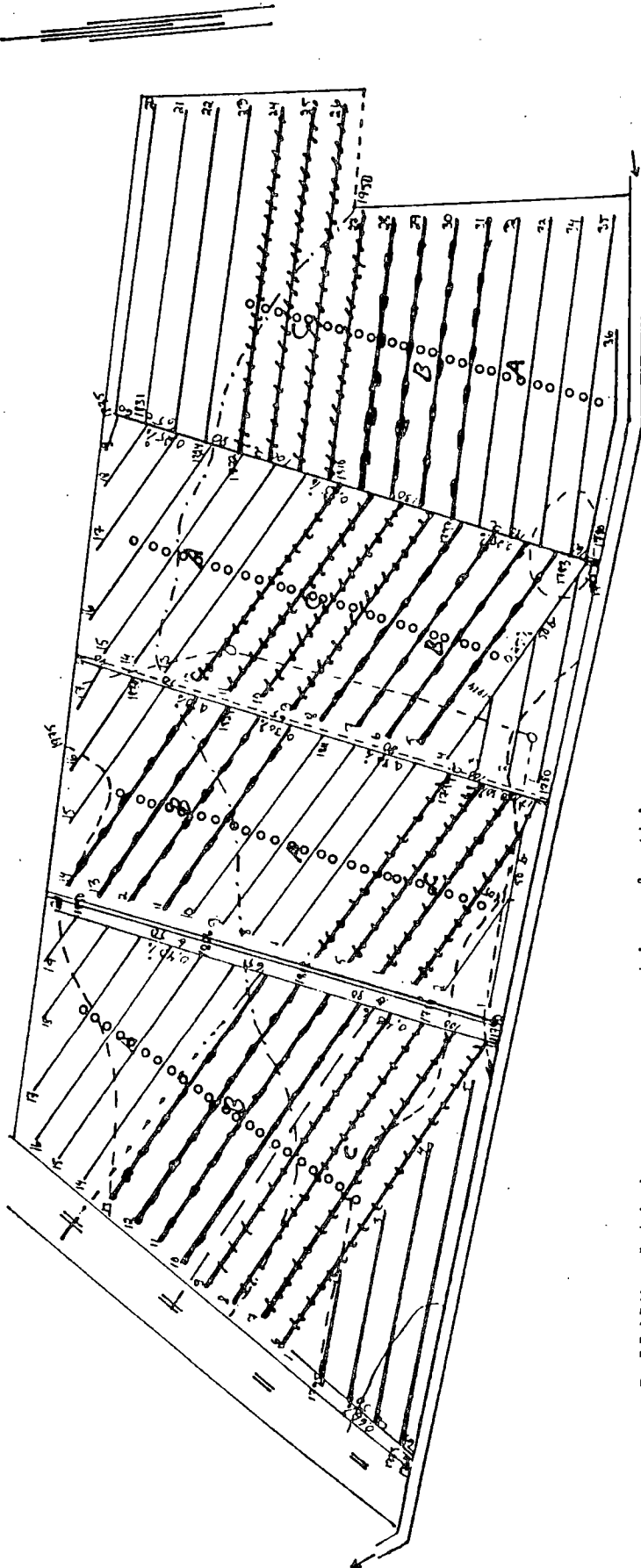
KAIVUULEVEYS- JA SORASTUSKOE



Korpelan tila, Murrenkuulma, Jokioinen o = pohjavesiputki  
 koe perustettu 1984

- A leveä (27 cm) kaivuu normaali sorastus
- B kapea (17 cm) kaivuu normaali sorastus
- C kapea kaivuu tehostettu sorastus (20 cm)

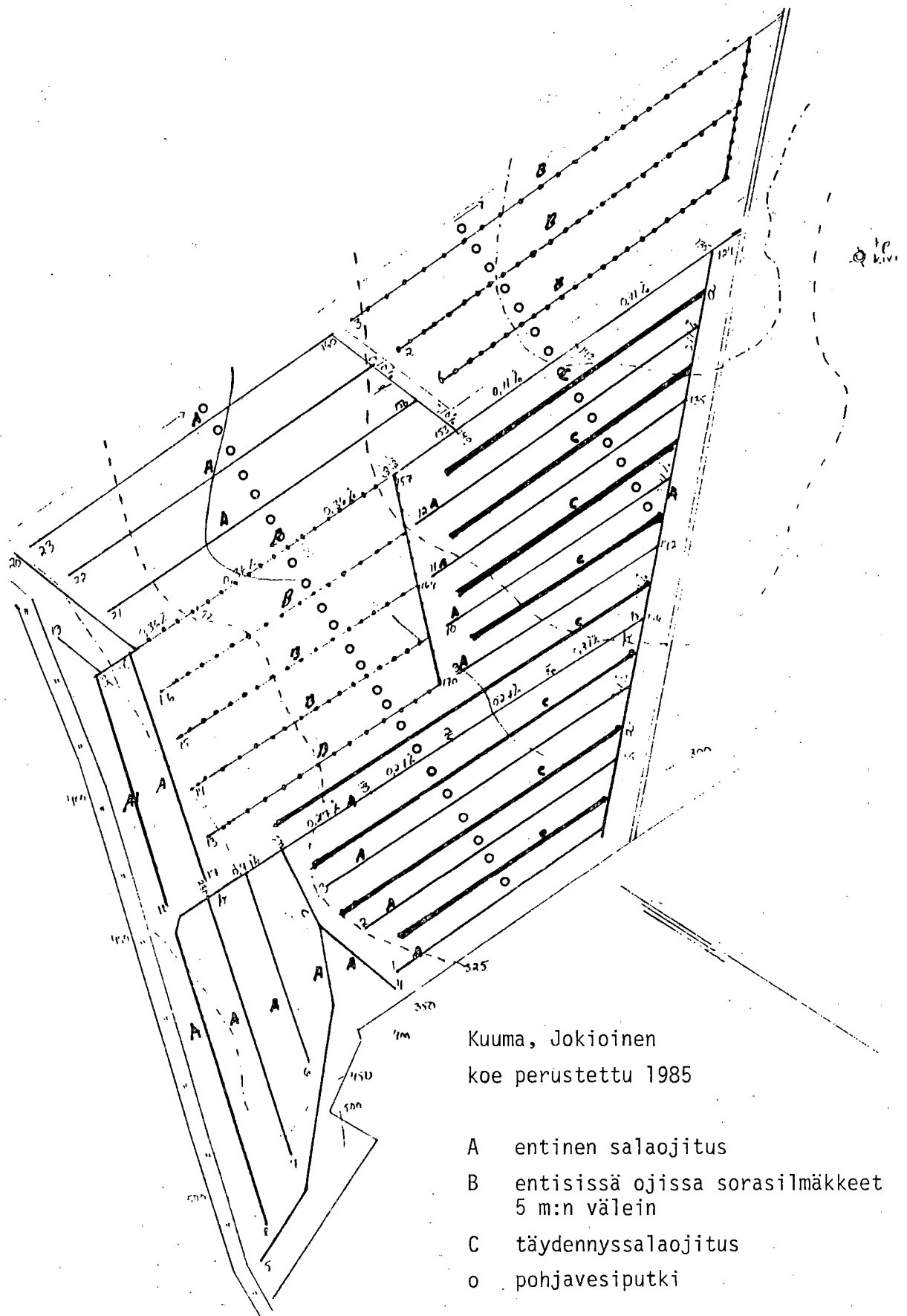
SORASILMÄKKEKOE



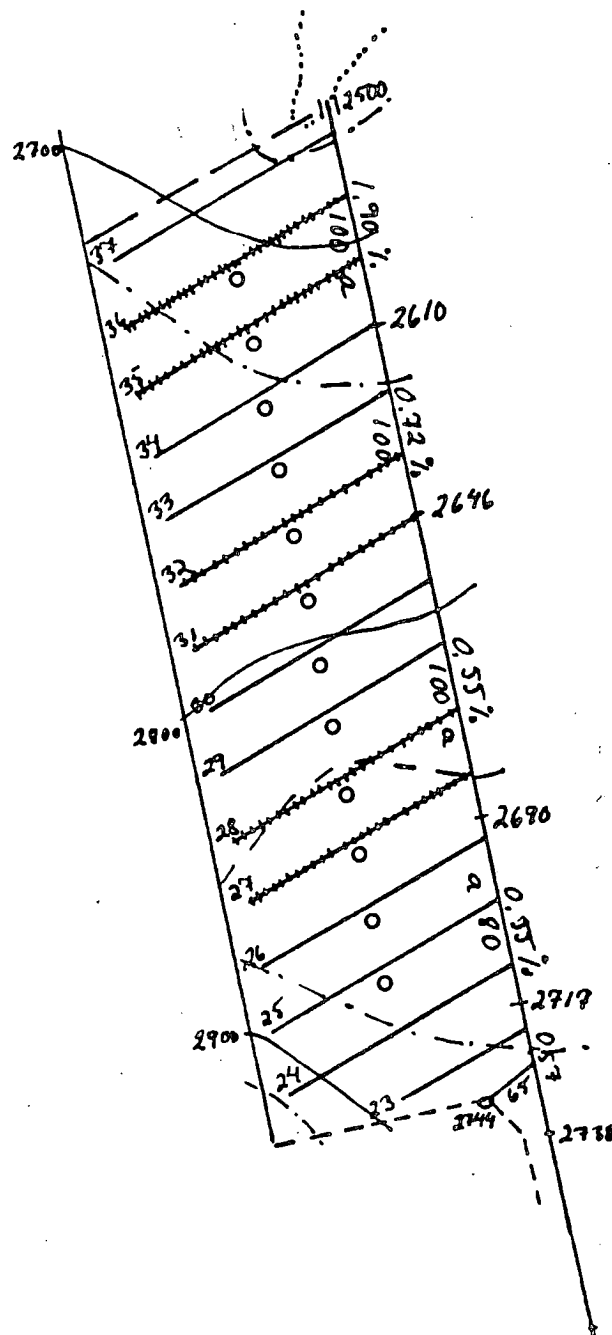
Pellilä, Jokioinen o = pohjavesiputki  
 koe perustettu 1986

- A ei sorasilmäkkeitä tavallinen sorastus (10 cm)
- B sorasilmäkkeitä 10 m:n välein tavallinen sorastus (10 cm)
- C pitkiä sorasilmäkkeitä 10 m:n välein niukka sorastus (5 cm)

## ENTISEN SALAOJITUKSEN TEHOSTAMINEN



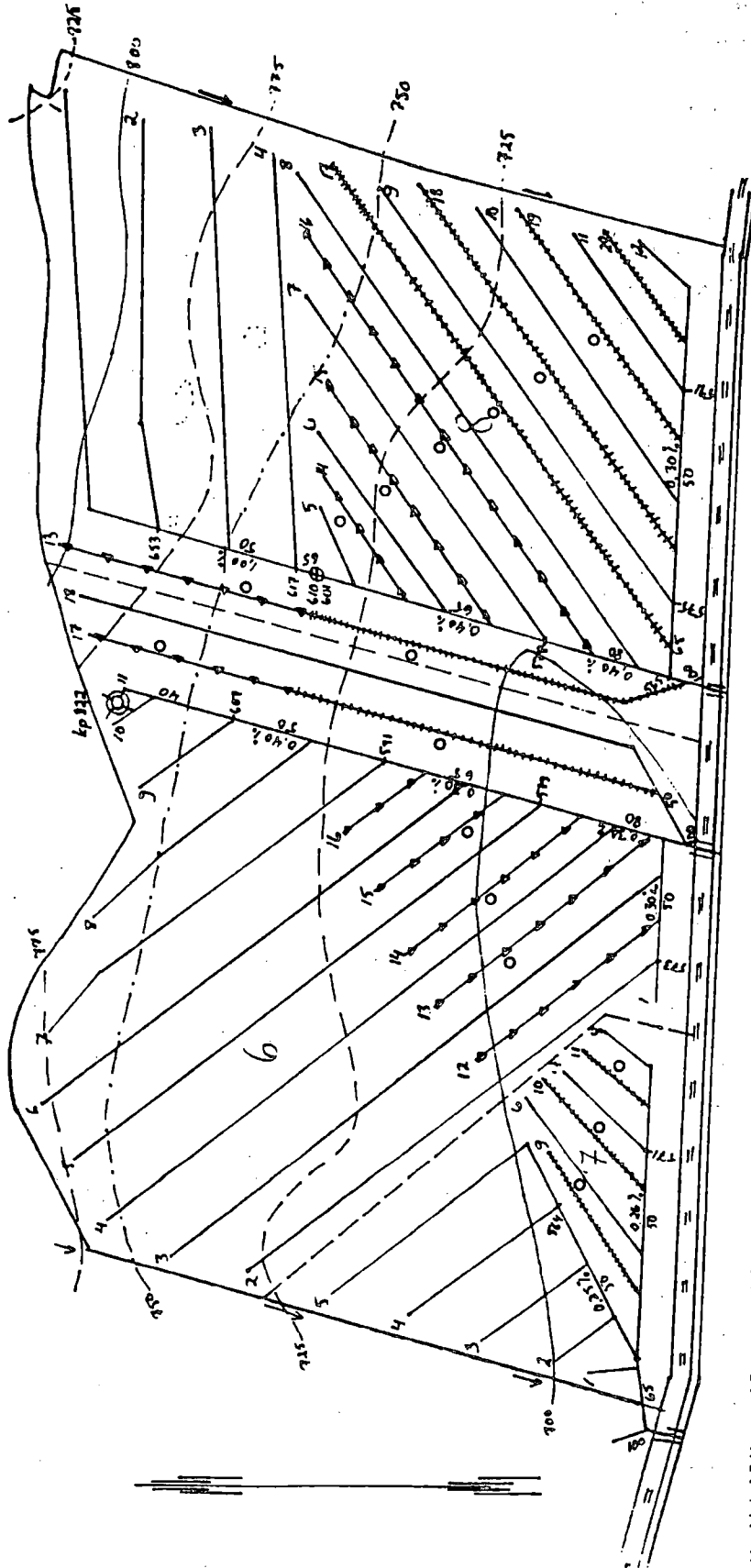
## HAKEOJITUS



Ilmala, Jokioinen  
 koe perustettu 1987

- normaali ojan täyttö:  
 10 cm:n sorastus, sorasilmäkkeet 15 m:n välein
- ~~~~~ ojan täyttö hakkeella  
 5 cm:n sorastus
- o pohjavesiputki

SALAOJAKAIVANNON TÄYTTÖKOJI



Heikkilän tila, Koirjärvi  
 koe perustettu 1987  
 täydennysojitus

- normaali sorastus, kaivannon täyttö kuivalla pintamaalla
- normaali sorastus, kaivannon täyttö hakkeella
- vanha salaoja



## MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUKSEN TIEDOTTEET

1983

1. Maatalouden tutkimuskeskuksen yksiköiden tiedotteet 1975-1982. 48 p.
2. KONTTURI, M. Mallasohra - kirjallisuuskatsaus. 42 p.
3. NORDLUND, A. & ESALA, M. Maatalouden sääpalvelut ulkomailta. Kirjallisuustutkimus. 66 p.
4. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1975-1982. 186 p. + 4 liitettä.
5. SUONURMI-RASI, R. & HUOKUNA, E. Kaliumin lannoitustason ja -tavan vaikutus tuorerehunurmien satoihin ja maiden K-pitoisuuksiin. 13 p. + 8 liitettä.
6. KEMPPAINEN, E. & HEIMO, M. Förbättring av stallgödselns utnyttjande. Litteraturöversikt. 81 p.
7. MULTAMÄKI, K. & KASEVA, A. Kotimaiset lajikkeet. 10 p.
8. LÖFSTRÖM, I. Kasvien sisältämät aineet tuholaistorjunnassa. 26 p.
9. HEIKINHEIMO, O. Kirvojen preparointi ja määrittäminen. 67 p. + 12 liitettä.
10. SAARELA, I. Soklin fosforimalmi fosforilannoitteena. p. 1-13. Humuspitoiset lannoitteet. p. 14-20.
11. YLÄRANTA, T. Jordanalyseter i de nordiska länderna. 13 p.
12. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Avomaan vihanneskasvien lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1979-1982. 21 p.
13. KIVISAARI, S. & LARPES, G. Kylvöajankohdan vaikutus kevätvehnän, ohran ja kauran satoon 10-vuotiskautena 1970-1979 Tikkurilassa. 54 p.
14. ERVIÖ, R. Maaperäkarttaselitys. ESPOO - INKOO. 26 p.
15. BREMER, K. Ydinkasvien tuottaminen kasvisolukkoviljelyyn avulla. 63 p.

1984

1. Tiivistelmät eräistä MTTK:n julkaisuista 1983. 74 p.

2. ESALA, M. & LARPES, G. Kevätviljojen sijoituslannoitus savi-  
mailla. 35 p.
3. ETTALA, E. Ayrshire-, friisiläis- ja suomenkarjalehmien ver-  
tailu kotoisilla rehuilla. 7 p. + 18 liitettä.
4. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Keräkaalin lajikekokeiden tuloksia  
vuosilta 1975-1983. 22 p.
5. KURKI, L. Tomaattilajikkeet ja hiilidioksidin lisäys. Kasvi-  
huonetomaatin viljelylämpötiloista. Kasvihuonekurkun tuen-  
tamenetelmien vertailua. Sijoituslannoitus ja kasvualustan  
ilmastus kasvihuonekurkulla ja tomaatilla. 21 p.
6. VUORINEN, M. Italianraiheinä ja viljat tuorerehuna. 17 p.
7. ANISZEWSKI, T. Lupiini viherlannoituskasvina. Arviointeja  
esikokeiden ja kirjallisuuden pohjalta. 11 p.
8. HUOKUNA, E. & HAKKOLA, H. Koiranheinän ja timotein kasvu ja  
rehuarvon muutokset säilörehuasteella. 54 p.
9. VALMARI, A. Roudan kehittymisen tilastollinen malli. 33 p.
10. HAKKOLA, H. Kuonakalkituskokeiden tuloksia 1978-1983. 42 p.
11. SIPPOLA, J. & SAARELA, I. Eräät maa-analyysimenetelmät fosfo-  
rilannoitustarpeen ilmaisijoina. 20 p.
12. RAVANTTI, S. Terhi-punanata. 37 p.
13. URVAS, L. & HYVÄRINEN, S. Kolme ravinnesuhdetta Suomen maala-  
jeissa. 10 p.
14. ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., KERSALO, J. & NORDLUND, A.  
Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1983. 101 p.
15. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten  
lajikekokeiden tuloksia 1976-1983. 202 p. + 4 liitettä.
16. JUNNILA, S. Ympäristötekijöiden vaikutus herbisidien käyttäy-  
tymiseen maassa. Kirjallisuustutkimus. 15 p. + 4 liitettä.
17. PESSALA, R., HAKKOLA, H. & VALMARI, A. Kylvöajan merkitys  
porkkanan viljelyssä. 22 p.
18. NISULA, H. Uusimpia tuloksia Ruukin lihanautakokeista. 39 p.
19. SAARELA, I. Kevätöljykasvien boorilannoitus. 122 p. + 2 lii-  
tettä.
20. URVAS, L. Maaperäkarttaselitys. PORI - HARJAVALTA. 28 p. + 14  
liitettä.
21. LEHTINEN, S. Avomaavihannesten lannoitus- ja kastelukokeet  
1978-1983. 62 p. + 17 liitettä.

22. ANISZEWSKI, T. & SIMOJOKI, P. Rikkakasvien siementen määrä ja elinvoima eräillä MTTK:n kiertokoealueilla. Kirjallisuustutkimus ja MTTK:n kolmen tutkimusaseman näytteiden analyysi. p. 1-38.

PALDANIUS, E. & SIMOJOKI, P. Rikkakasvien siementen määrä ja elinvoima Satakunnan ja Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemien maanäytteissä. p. 39-56.

23. RINNE, S-L. & SIPPOLA, J. Maatalouden jätteiden kompostointi. I Typpi- ja fosforilisä oljen kompostoinnissa. II Maatalouden jätteet kompostin raaka-aineina. III Kompostin arvo lannoitteena. 52 p.

1985

1. Tiivistelmiä MTTK:n tutkimuksista ja julkaisuista 1984. 67 p.

2. ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., NORDLUND, A. & PILLI-SIHVOLLA, Y. Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1984. 127 p.

3. ETTALA, E. Säilörehu Maatalouden tutkimuskeskuksen lypsykarjakoikeissa 1970-luvulla. 270 p.

4. ETTALA, E. Laidun lypsykarjaruokinnassa. 220 p.

5. TUORI, M. & NISULA, H. Ruokintarutiinien merkitys naudoilla. Kirjallisuustutkimus. 38 p.

6. TURTOLO, E. & JAAKKOLA, A. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. 43 p.

7. AURA, E. Avomaan vihannesten veden ja typen tarve. Nitrogen and water requirements for carrot, beetroot, onion and cabbage. 61 p.

8. Puutarhaosaston tutkimustuloksia. Taimitarha ja dendrologia. 94 p.

9. KEMPPAINEN, E. Kuivikkeen vaikutus lannan arvoon. Kuivikkeiden ammoniakki sitomiskyky. 25 p.

10. JAAKKOLA, A., HAKKOLA, H., HIIVOLA, S-L., JÄRVI, A., KÖYLIJÄRVI, J. & VUORINEN, M. Terästeollisuuden kuonat kalkitusaineina. 44 p.

11. JAAKKOLA, A., ETTALA, E., HAKKOLA, H., HEIKKILÄ, R. & VUORINEN, M. Siilinjärven kalkki kalkitusaineena. 53 p.

12. TAKALA, M. Asumajätevesien imeyttäminen maahan ja energiapajun viljely imeytyskentällä. 36 p.

13. JOKINEN, R. & HYVÄRINEN, S. Eri maalajien magnesiumpitoisuus ja sen vaikutus ravinnesuhteisiin Ca/Mg ja Mg/K. 15 p.

14. JUNNILA, S. Rikkakasvien siementen itämislepo. Kirjallisuuskatsaus. 29 p.

15. MÄKELÄ, K. Talven aikana kuolleiden ryhmäruusujen versoissa esiintyvä sienilajisto vuosina 1976-1982. 13 p. + 8 liitettä.
16. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1977-1984. 168 p. + 4 liitettä.
17. SÄKÖ, J. Maatalouden tutkimuskeskuksen puutarhaosastolla Piikkiössä kokeillut ja kokeiltavana olevat omenalajikkeet. Perusrungon merkitys omenapuiden talvehtimisessä 1983-1984.  
SÄKÖ, J. & LAURINEN, E. Omenapuiden harjuistutus.  
HIIRSALMI, H. & SÄKÖ, J. Mansikan jalostus johtanut tulokseen.
18. ETTALA, E., SUVITIE, M., VIRTANEN, E., PITKÄNEN, T., ZITTING, M., NÄSI, M., TUOMIKOSKI, T. & NISKANEN, M. Metsä- ja maatalouden sivutuotteet lihamullien rehuna. 51 p.
19. MANNER, R. & AALTONEN, T. Pitko-syysvehnä. 6 p. + 27 liitettä.
20. MANNER, R. & AALTONEN, T. Kartano-syysruis. 5 p. + 13 liitettä.
21. ANISZEWSKI, T. Lupiini viljelykasvina. 134 p.
22. HUOKUNA, E., JÄRVI, A., RINNE, K. & TALVITIE, H. Nurmipalkokasvit puhtaana kasvustona ja heinäseoksena. p. 1-12.  
HUOKUNA, E. Apilan pähkahomeen esiintymisestä. p. 13-20.  
HUOKUNA, E. & HÄKKINEN, S. Englanninraiheinä säilörehunurmossa. p. 21-26.
23. VIRKKUNEN, H., KOMMERI, M., LARPES, E., MICORDIA, A. & LAMPILA, M. Eri säilöntäaineet esikuivatun ja tuoreen säilörehun valmistuksessa sekä kiinteä ja nouseva väkirehun annostus mullien kasvatuksessa. p. 1-32.  
VIRKKUNEN, H., KOMMERI, M., SORMUNEN-CRISTIAN, R. & LAMPILA, M. Eri säilöntäaineet nurmirehun säilönnässä. p. 33-45.
24. RISSANEN, H., ETTALA, E., MELA, T. & MUSTONEN, L. Laitumen sadetuksen ja väkirehujen käytön vaikutus lehmien tuotoksiin. p. 1-21.  
RISSANEN, H., KOSSILA, V. & VASARA, A. Urean, urea-fosforihappo-viherjauhoyhdisteen (UPV) ja soiijan vertailu raakavalkuaislähteinä maidontuotantokokeissa lehmillä. p. 22-30.  
KOSSILA, V., KOMMERI, M. & RISSANEN, H. Monokalsiumfosfaatti ja ureafosfaatti sekä käsittelemätön olki ja ammoniakilla käsitelty olki mullien ruokinnassa. p. 31-40.
25. KORTET, S. Puna-apilan paikalliskantojen ekologia. 66 p.
26. MEHTO, U. Viljojen rikkakasvien torjunta ilman herbisidejä. Kirjallisuustutkimus. 77 p.
27. HUHTA, H. & HEIKKILÄ, R. Rehuviljan viljely Pohjois-Karjalassa. 24 p. + 2 liitettä.

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 peruslannoitteena. 25 p.
4. NIEMELÄINEN, O. Nurmikkoheinien ominaisuudet. Kirjallisuustutkimus. Tuloksia punanatojen ja niittynurmikan 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, niittynurmikan 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. Herneaurasta saatava typpilannoitusyhöty. 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 lypyskauden 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 kulumisen nurmikon stressitekijöinä. Kirjallisuuskatsaus. p. 1-30.  
NIEMELÄ, T. Siirtonurmikon kasvatusta ja käyttöä. 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 koriste-kasvien 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. Pih-lajanmarjakoin 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 säteilyval-vonta. PAASIKALLIO, A. Radionuklidien siirtyminen viljely-kasveihin. 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 turve-maiden kuparipitoisuus ja sen vaikutus kauran kasvuun astia-kokeessa. p. 1-17.  
Maan kuparipitoisuuden ja happamuuden vaikutus kuparilannoi-tuksella saatuihin kauran satotuloksiin. p. 18-37.  
Maan pH-luvun ja kuparilannoituksen vaikutus kauran hivenra-vinnepitoisuuksiin. p. 38-47.  
Kaura- ja ohralajikkeiden herkkyys 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 satovahin-kojen arviointitutkimus. 87 p.
20. KEMPPAINEN, R. Puna-apilan ymppäys 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. KIISKINEN, T. & MÄKELÄ, J. Kasviperäisten valkuaisrehujen sulavuus minkillä. Smältbarhet av vegetabiliska proteinfodermedel hos mink. Digestibility of protein feedstuffs derived from plants in mink. p. 1-13  
KIISKINEN, 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 kenttöolosuhteissa. 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 kevätiljojen siemenen orastumisko-  
keet. p. 1-17.  
RANTANEN, O. & SOLANTIE, R. Uusi peltoviljelyn alue- ja vyöhy-  
kejakoehdotus. p. 18-31.
  17. RAHKONEN, A. & ESALA, M. Kevätiljojen ja -öljykasvien kylvö-  
aika. 72 p.
  18. JUNNILA, S. Perunaherbisidejä tehokkuustarkastuksessa. p. 1-15.  
Lehvästön hävitys herneellä ja öljykasveilla. p. 16-24.
  19. KEMPPAINEN, E. Didinin (disyandiamidi) vaikutus naudan liete-  
lannan tehoon ohran lannoitteena. 35 p.
  20. ETTALA, E. & VIRTANEN, E. Ayrshiren, friisiläisen ja suomenkar-  
jan vertailu vasikka- ja hiehokaudella säilörehu-vilja- ja  
heinä-vilja-urea-ruokinnalla. 92 p.
  21. PITKÄNEN, J., ELONEN, P., KANGASMÄKI, T., KÖYLIJÄRVI, J., TAL-  
VITIE, H., VIRRI, K. & VUORINEN, M. Aurattoman viljelyn vai-  
kutukset kevätiljojen 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 chemi-  
cal properties of soil.
22. KÄNKÄNEN, H. & KONTTURI, M. Kylvötiheyden vaikutus lehtityy-  
piltään erilaisten herneiden sadon muodostumiseen. 69 p.

1989

1. Tiivistelmiä MTTK:n tutkimuksista. 23 p.
2. MUSTONEN, L., RANTANEN, O., NIEMELÄINEN, O., PAHKALA, K. & KONT-  
TURI, M. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1981-1988.  
147 p. + 8 liitettä.
3. VUORINEN, M. Turvemaan kaliumlannoitus. 17 p.
4. TAKALA, M. Saderiskien ja korjuutappioiden vähentämismahdolli-  
suuksista 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 tervetäimituotanto ja sen merkitys Suomessa. 57 p.
10. UUSI-KÄMPPÄ, J. Vesistöjen suojaaminen rantapeltöjen valumiltoilta. 66 p.
11. Öljykasvien viljelyn edistäminen. Yhteistutkimuksen tuloksia vuosilta 1985 - 1988. Toimittanut Katri Pahkala. 95 p.
12. JUHANOJA, S. Juurritushormonien käyttö vesiviikunan Ficus pumila L. pistokkaiden juurrituksessa. 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 lisäksi. p.35-38.
14. JOKI-TOKOLA, E. Väkiheinä ja säilörehut lihanautojen ruokintakokeissa. 46 p.
15. MÄKELÄ, K. Kesäkukkien kauppa-aiemmen 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 försämrad 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. Maanäytteiden 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

2. MARKKULA, M., TIITTANEN, 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 kevätiljan arvo kylvösiemenenä. 28 p. + 20 liitettä.
  5. SALO, Y & PIETILÄ, E. Laari-kevätevehnä. 32 p. + 2 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
- 
10. AURA, E. Salaojien toimivuus savimaissa. 93p.

