

# ACTA FORESTALIA FENNICA

Vol. 167, 1980

KUIVATUKSEN TILA JA PUUSTO 20 VUOTTA VANHOILLA  
OJITUSALUEILLA

*DRAINAGE CONDITION AND TREE STAND ON PEAT-  
LANDS DRAINED 20 YEARS AGO*

Leo Heikurainen



SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

### **Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat**

**ACTA FORESTALIA FENNICA.** Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä tieteellisiä tutkimuksia. Ilmestyy epäsäännöllisin väliajoin niteinä, joista kukin käsittää yhden tutkimuksen.

**SILVA FENNICA.** Sisältää etupäässä Suomen metsätaloutta ja sen perusteita käsitteleviä kirjoitelmia ja lyhyehköjä tutkimuksia. Ilmestyy neljästi vuodessa.

Tilaukset ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran toimistoon. Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17.

### **Publications of the Society of Forestry in Finland**

**ACTA FORESTALIA FENNICA.** Contains scientific treatises mainly dealing with Finnish forestry and its foundations. The volumes, which appear at irregular intervals, contain one treatise each.

**SILVA FENNICA.** Contains essays and short investigations mainly on Finnish forestry and its foundations. Published four times annually.

Orders for back issues of the publications of the Society, and exchange inquiries can be addressed to the office: Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17, Finland. The subscriptions should be addressed to: Academic Bookstore, Keskuskatu 1, SF-00100 Helsinki 10, Finland.

## **KUIVATUKSEN TILA JA PUUSTO 20 VUOTTA VANHOILLA OJITUSALUEILLA**

LEO HEIKURAINEN

### *SUMMARY:*

*DRAINAGE CONDITION AND TREE STAND ON PEATLANDS  
DRAINED 20 YEARS AGO*

HELSINKI 1980

## ALKUSANAT

Metsänkasvua varten ojitettuja soita on maassamme jo yli 5 milj. ha ja tarkoitus on ojittaa vielä n. 1.5 milj. ha. Kokemuksesta ja myös tutkimuksiin perustuen tiedetään, että ojat rappeutuvat, niiden koko pienenee, vedenjohtokyky heikkenee ja pahimmissa tapauksissa ne peräti tukkeutuvat. Tällaisesta kehityksestä on seurauksena puuston kasvun heikkeneminen, äärimmäisissä tapauksissa peräti puuston tuhoutuminen.

Jotta puuston kasvu ojitusalueilla jatkuu häiriöttä, on kuivatuksen teho pidettävä riittävänä. Kysymys siitä mikä on »riittävä teho» ei ole vielä suinkaan ratkaistu. Kun otetaan huomioon, että nykyisillä ojitusalueilla on n. 1.5 milj. km ojia, joiden toimivuudesta alueiden kuivatus riippuu, on helppo tajuta, että kyseessä on myös mittava käytännön ongelma. Käsillä oleva tutkimus ratkoo omalta osaltaan näitä ongelmia.

Tutkimukseen on saatu varoja Maa- ja metsätalousministeriöltä ns. vientimaksuvaroista sekä Metsähallituksen myöntämänä metsänparannusvarojen kokeilumomentilta.

Haluan tässä yhteydessä lausua parhaat kiitokseni erityisesti apul.prof. Kustaa Sepälälle, joka on ratkaisevan tärkeällä tavalla osallistunut työn suunnitteluun ja kenttätöihin, sekä MMK Jukka Laineelle, joka on monella tavalla avustanut minua työn eri vaiheissa, erityisesti tilastokäsittelyssä. Samoin esitän parhaat kiitokseni MMK Tapio Kytövuorelle, joka on hoitanut kenttätöitä ja avustanut minua aineistojen käsittelyssä.

Tapiolassa 30. 3. 1980.

LEO HEIKURAINEN

## SISÄLLYS

	Sivu
1. Johdanto .....	5
2. Tutkimuksen pääpiirteet .....	6
21. Koealat .....	6
22. Kenttätöet .....	6
23. Aineiston käsittelyn suuntaviivat .....	8
3. Käytetyt muuttujat .....	10
31. Selittävät muuttujat .....	10
32. Selittävät muuttujat .....	10
33. Eräitä näkökohtia muuttujien mittaamisesta .....	11
4. Tulokset .....	14
41. Tulosten esittämisen suuntaviivat .....	14
42. Kuutiomäärä .....	14
43. Kuutiokasvu .....	17
44. Sädekasvu .....	21
45. Pohjavesipinnan syvyyden selittäminen .....	24
46. Sarkaleveyden ongelma .....	28
47. Ojien rappeutumisen syyt .....	29
5. Tulosten yhdistelmä .....	31
6. Pohdintaa .....	34
7. Kirjallisuutta .....	35
Summary .....	35
Liitteet .....	38

## 1. JOHDANTO

Metsänkasvua varten ojitettu suo on labiili metsäekosysteemi, joka useimmissa tapauksissa pyrkii palautumaan alkuperäiseksi suo-ekosysteemiksi. Etenkin ensimmäisinä vuosikymmeninä uusi metsäekosysteemi vaatii keinollisen kuivatuksen jatkuvaa hoitoa pysyäkseen tehokkaasti puuta tuottavana.

Oleellisin kasvutekijä edellä viitatuissa tapahtumissa on eittämättä vesiolot ja niihin ratkaisevasti vaikuttava tekijä on kuivatuksen tila. Käsitteenä kuivatuksen tila on ymmärrettävä laajasti, muuttuvien tekijöiden kuten ojien kunnon, syvyyden, vedenjohtokyvyn jne. lisäksi siihen kuuluvat monet pysyväisluonteiset tekijät kuten sarkaleveys, ojien kaltevuus ja suunta maan luontaiseen kaltevuuteen nähden jne.

Metsän vaikutus vesioloihin on suuri, kuten monissa tutkimuksissa on voitu osoittaa (esim. BRECHTEL 1972, HEIKURAINEN ja PÄIVÄNEN 1970). Toisaalta vesiolojen vaikutus esim. metsän kasvuun on todettu ratkaisevan tärkeäksi (esim. SEPPÄLÄ 1972). Tämä vuorovaikutus on itse asiassa suolle aikaansaadun labiilin metsäekosysteemin säätelymekanismi. Sen tasapainosta riippuu kehittykö suometsä entistä tyypillisemmäksi metsäekosysteemiksi vai saako palautuva suunta eli kehitys kohti suoekosysteemiä vallan.

Suomen ilmasto-oloissa ja turvemaiden maaperäoloissa kehityksen suuntaa ohjaamaan yleensä tarvitaan keinollisen kuivatuksen jatkuminen. Puuston hydrologisen vaikutuksen maksimivaiheessa eli talousmetsän kiertoajan loppupuoliskolla saattaa metsäekosysteemi olla itsesäilyttäväkin, mutta valtaosan kiertoajasta metsäekosysteemi

on pysyvä vain silloin kun keinollisen kuivatuksen teho on riittävä.

Ohutturpeisten soiden ojitus saattaa poikkeuksellisesti johtaa pysyvään muutokseen etenkin viljavien soiden tapauksissa. Tällöin ei oikeastaan olekaan kyseessä suo-ekosysteemin muuttuminen metsäekosysteemiksi vaan metsäekosysteemiä uhkaavan soistumiskehityksen pysyväisluonteinen pysäyttäminen.

Turvemaille aikaansaatuun metsien kehitystä ei juuri ole tutkittu metsäekosysteemi-suoekosysteemi ajattelun pohjalta. Pääosa tutkimustyöstä niin meillä kuin muuallakin on kohdistettu ojituksen jälkeisten ensimmäisten vuosikymmenien reaktioihin. Pitemmällä tähtäyksellä on puhuttu lähinnä vain ojien kunnossapidon ongelmista, jotka kaikkesta päättäen ovatkin oleellisia käytännön ongelmia metsäekosysteemin säilyttämiseen tai siihen johtavan kehityksen voimistamiseen pyrittäessä. Puuston kehitystä ensimmäisen ojituksen jälkeisen kiertoajan loppuun ja osin toistakin kiertoaikaa on voitu seurata vain suppeilla alueilla esim. Neuvostoliitossa (vrt. Buss 1964).

Tässä tutkimuksessa pyritään valottamaan ojitetulla suolla kasvavan metsän ja kuivatusolojen välisiä vuorosuhteita monipuolisesti ja siten lisäämään tietojamme metsäekosysteemin kehittymiseen ja säilymiseen vaikuttavista tekijöistä. Tutkimus ei siis yritä laatia »ojanperkausohjeita», vaan pyrkii valaisemaan ongelmia, joiden ymmärtäminen ja ratkaiseminen on tarpeen ojien ja ojitusalueiden kunnossapidosta huolehdittaessa.

## 2. TUTKIMUKSEN PÄÄPIIRTEET

### 21. Koealat

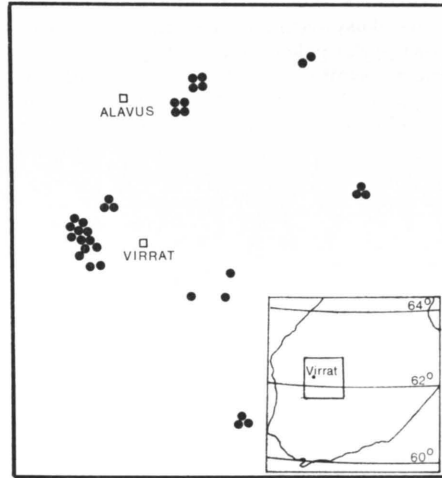
Tutkimuksessa päädyttiin seuraavaan menetelmään. Käytännön ojitusalueilta mitattiin koealoja ja niistä selvitettiin puustotunnuksia, vesitaloustunnuksia sekä ojitusteknisiä tunnuksia. Tavoitteena on mainittujen muuttujaryhmien keskinäisten suhteiden tarkastelulla saada valaistusta tutkimuksen ongelmaan.

Jotta ojituksen jälkeinen puuston kasvun rytmi (vrt. esim. SEPPÄLÄ 1969) mahdollisimman vähän häiritäisi tarkastelua, katsottiin tarpeelliseksi pyrkiä samanikäisiin ojitusaluesiin. Edelleen pyrittiin keskittämään tutkimukset puustoihin, joissa ojituksen jälkeinen puuston kasvun paraneminen on jo tapahtunut eli vähintään 15 vuotta vanhoihin ojitusaluesiin (vrt. esim. HEIKURAINEN 1959). Näin päädyttiin etsimään koealat 1957–1962 ojitetuilta alueilta. Lähes kaikki ojat oli tehty auraamalla, vain viiden ojan tapauksessa ojat olivat kaivuriojia, kolmessa tapauksessa lapio-kaivuoja. Ojat olivat yleensä perkaamattomia, vain yhdellä koealalla (15) tiedetään tehdyn lieviä perkaustöitä.

Koealojen ottoa rajattiin edelleen siten, että ne otettiin suhteellisen pieneltä alueelta Keski-Suomesta ja edelleen siten, että viljavuus sai vaihdella vain varsinaisesta sara-rämeestä tupasvillärämeeseen. Muista rajoituksista mainittakoon, että vain selvät sarkaojakuivatukset hyväksyttiin ja että turvesyvyys tuli olla vähintään 1 m. Yleisin syvyys oli 1.5+, vain yhdellä koealalla (26) turvesyvyys oli vähän alle 1 m.

Puustolta edellytettiin suhteellisen hyvää tasaisuutta ja kehitysvaihetta, joka voidaan kuvata käsitteellä harvennusemetsä, toisin sanoen taimistot ja runsaasti ylipuita sisältävät uudistettavat puustot eivät kelvanneet. Varttuneita puustoja ei tietysti voinut tässä koealajoukossa esiintyä.

Sopivan aineiston löytäminen kohtasi yllättävän suuria vaikeuksia, ja edellä mainituista rajoituksista jouduttiin jonkin verran tinkimään. Kuva 1 esittää tutkimukseen hyväksytyjen 35 koealan sijaintia.



Kuva 1. Koealojen sijainti.

Fig. 1. Location of the sample areas.

### 22. Kenttätyöt

Koealat rajattiin ojasta ojaan ulottuviksi. Ojien suuntainen sivu pyrittiin saamaan sellaiseksi, että koealan pinta-ala olisi vähintään 0.15 ha ja enintään 0.35 ha olosuhteista riippuen. Keskimääräiseksi pinta-alaaksi tuli 0.228 ha.

Jokaisella koealalla mitattiin kesällä 1978 kuutiomäärä ja 5 v:n sekä 10 v:n kuutiokasvu kairauksia ja Ilvessalon (1948) kasvulaskentataulukkoja käyttäen. Puustotunnukset mitattiin osakoealoina siten, että saran keskiviivaa käyttäen erotettiin keskelle sarkaa keskikoeala (1/2 koko koealasta) ja molemmilla reunoilla mitattiin reunakoealat (1/4 koko koealasta). Kuva 2 (s. 8) esittää koealajärjestelyjä.

Sarkaleveys mitattiin ojan keskiviivalta koealan molemmissa päissä ojien lyhimpien etäisyyksien keskiarvona. Yleensä koealaa reunustavat ojat olivat yhdensuuntaisia. Ojan kaltevuus samoin kuin saran kaltevuus-suhteetkin selvitettiin vaaitsemalla ojan

Taulukko 1. Eräitä koealojen keskiarvotietoja.

Table 1. Some mean value information about the sample plots.

Koealoja yhteensä 35 kpl Total number of sample plots 35	Min	$\bar{M}$	Max
Viljavuus, bo <sup>1</sup> ) — Fertility, bo <sup>1</sup> ) .....	2.0	3.2	5.6
Sarkaleveys, m — Ditch spacing, m .....	32	48	90
Puuston kuutiom. m <sup>3</sup> /ha — Stand volume, m <sup>3</sup> /ha .....	19.0	46.5	92.0
» kuutiokasvu, m <sup>3</sup> /ha/v — Increment, m <sup>3</sup> /ha/yr .....	0.7	2.2	4.9
» valtaläpimitta, cm — Dominant diameter, cm .....	7.5	12.1	17.3

<sup>1</sup>) Vrt. Heikurainen 1978.

pohja, koealan keskiviiva sekä ojan suunnat 5 m ojasta sijaitsevat linjat. Kaikki linjat, jotka ulottuivat aina yhden vaaituspisteen verran yli koealan rajojen vaaittiin 10 m:n välein, paitsi ojanpohja, joka vaaittiin 5 m:n välein. Ojan syvyys mitattiin ojan pohjan vaaituksen yhteydessä asettamalla ojan yli riuku ja lukemalla vaaituslatasta syvyys. Ojan kunto arvioitiin oja-kohtaisesti käyttäen silmävaraista 3-asteikko: I (1) hyvä, II (2) tyydyttävä ja III (3) huono. Yksityiskohtainen määrittely on esitetty aikaisemmin (vrt. HEIKURAINEN 1959, s. 18).

Pohjavesisuhteiden selvittämiseksi kaivettiin koealan keskilinjalle sekä molemmille sivulinjoille, jotka sijaitsivat 5 m ojan reunasta, pohjavesikaivot tasavälein siten, että jokaiselle linjalle tuli 5 kaivoa. Pohjavesikaivojen lukumääräksi tuli siis 15 kpl. Kaivojen 0-tasoksi lyötiin kaivon seinään vaakatasoon veistetty keppi. Nämä tasot myös vaaittiin, jotta mahdolliset tasovirheet voitaisiin havaita ja korjata.

Ojien pohjaan koealan keskiviivalle lyötiin tukeva paalu, josta mitattiin vesisyvyyttä ojassa.

Kenttätöitä aloitettiin orientoitumismielessä kesällä 1976, kesällä 1977 koealat rajattiin, niille kaivettiin pohjavesikaivot ja suoritettiin kaltevuussuhteiden mittaukset. Kesällä 1978 mitattiin puusto, vaaittiin ojat, mitattiin ojasyvyys ja arvioitiin ojien kunto. Koko kesän, toukokuun lopusta syyskuun alkuun, tehtiin pohjavesimittauksia kerran viikossa samoina päivinä kaikilla koealoilla, samalla kerralla mitattiin myös ojassa olevan veden syvyys. Näitä mittauksia kertyi 16.

Kesällä 1979 tehtiin joukko lisämittauksia. Reunakoealoilta otettiin 15 koepuusta kairanlastut rinnankorkeudelta ja keskisaran koealalta 20 koepuusta samoin. Kairattavat puut olivat valtapuita. Valtapuut määritettiin laskennallisesti edellisen vuoden puustomittausten perusteella. Valtapuun läpimitasta saatiin poiketa  $\pm 2$  cm. Koepuiden tuli sijaita reunakoealoilla pohjavesilinjan ja keskikoealoilla keskilinjan tuntumassa, edellisillä oli sallittu poikkeaminen enintään 2.5 m, jälkimmäisillä 5 m. Kairattavaksi hyväksyttävien puiden latva tuli olla terve ja ojituksen vaikutuksesta selvästi elpynyt. Kairanlastun tuli sisältää vähintään 15 vuosilusta pinnasta lukien.

Ojan syvyudet mitattiin kuten edelliselläkin kerralla 5 m:n välein. Kussakin mittauspaijassa tehtiin 3 mittausta n. 1 m:n välein. Ojan syvyyden mittaus sidottiin vesivakaa ja jäykkää mittarilukua apuna käyttäen 5 m ojan keskiviivalla saralle sattuviin pisteisiin. Täten pyrittiin välttämään oja-maiden aiheuttama virhe.

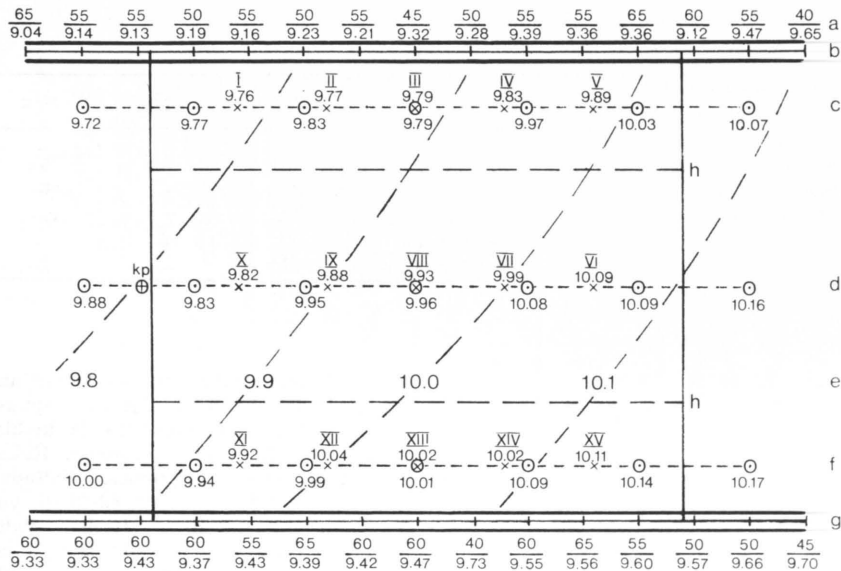
Ojien kunto arvioitiin uudelleen. Se tapahtui kullakin ojan syvyyden mittauspisteellä arvioiden seuraavasti:

Hyvä 1. Sallitaan vain vähäistä kasvillisuutta ojan pohjassa ja luiskissa. Ei perkaustarvetta.

Hyvä 2. Sallitaan suhteellisen runsaskin kasvillisuus, sen ei kuitenkaan sanottavasti saa haitata veden virtailua. Ei perkaustarvetta.

Tyydyttävä 3. Veden juoksu hidastunut esteiden kuten hakkuutähteiden, ojan pohjan kasvillisuuden jne. johdosta. Perkaukseen riittäisi veden juoksun esteiden poistaminen.

Tyydyttävä 4. Esteiden lisäksi oja madaltunut. Perkaus vaatisi kauttaaltaan maiden poistamista.



Kuva 2. Koeala 2:n koejärjestelyt: a. ojan syvyys ja vaaituslukema, b. alaoja, c. ojanreunalinja vaaituslukeminen ja pohjavesikaivoineen I–V, d. koealan keskilinja, e. korkeuskäyrien lukemat, f. toinen ojanreunalinja, g. yläoja ja h. osakoealojen rajat.

Fig. 2. Experimental layout of sample plot 2: a. ditch depth and levelling reading, b. lower ditch, c. ditch side line with levelling readings and groundwater wells I–V, d. centre line of sample plot, e. contour line readings, f. the other ditch side line, g. upper ditch and h. the lines of partial sample plots.

Huono 5. Veden juoksu estynyt voimakkaasti kasvillisuuden ja ojan madaltumisen takia. Perusteellinen perkaus ja ojan syventäminen tarpeen.

Huono 6. Oja umpeutunut madaltumisen, liettymisen tai kasvillisuuden takia. Perkaaminen vastaa lähes uuden ojan tekoa.

Viiden metrin välein mitattiin ns. oja-maahukka 10 cm:n tarkkuudella. Tätä varten ojituksen aikana »jäätynyt puuston raja» pyrittiin määrittämään vähintään kolmella linjakepillä. Usein näin saatu linja tuli murtoviivaksi ja ojamaahukka laskettiin mittausten keskiarvona. Koko aineistossa (70 ojaa) ojamaahukan suuruudeksi tuli ojan keskiviivasta mitaten 2–3 m. näitä suurempia arvoja oli kahdeksassa ja pienempiä yhdeksässä tapauksessa. Ojamaahukan keskiarvoksi saatiin 2.50 m. Koko saralla ojamaahukka oli siis 5.00 m.

### 23. Aineiston käsittelyn suuntaviivat

Tutkimuksessa on erotettavissa kaksi muuttujien pääryhmää, selitettävät ja selittävät. Edelliset ovat puustoa koskevia. Selittävät muuttujat voidaan ryhmitellä esim. seuraavasti. Luonnonolosuhteista johtuvat kasvutekijät esim. viljavuus, kaltevuussuhteet jne., kuivatustekniset tekijät, jollaisia ovat esim. sarkaleveys, ojasyvyys, ojien kunto, ojien kaltevuus jne. ja lopuksi vesitaloutta ilmaisevat, sellaisina on tässä tutkimuksessa käytetty pohjavesipinnan syvyyden arvoja.

Pääpiirteissään aineiston käsittely noudattaa seuraavaa ajatuskulkua. Puustotunnusten vaihtelua pyritään selittämään kaikilla selittäjillä käyttäen ensitarkastelussa lähinnä korrelaatiomatriiseja. Mielenkiintoisimpia vuorosuhteita tutkitaan jatkossa

regressio- ja varianssianalyysien. Yleensä pyritään siihen, että luonnonoloja ilmaisevat kasvutekijät eliminoidaan regressioanalyysissä luokitteleviksi muuttujiksi, jotta kuivatustekniset ja vesitaloustekijät tulisivat paremmin esille. Käsittelyn kuluessa osoitettiin, että puustotunnuksia selittivät parhaiten vesitaloutta ilmaisevat pohjavesitunnukset. Tämän toteamisen jälkeen oli tutkimuksen tavoitteita ajatellen aiheellista pyrkiä selittämään pohjavesisyvyyden vaihtelua kuivatusteknisillä muuttujilla. Näin uskottiin saatavan tietoa siitä miten ojituksen kunto ja tila vaikuttavat puustoon ja sen kasvuun.

Tutkimus etenee kahden aineiston rinnakkaisena käsittelynä. Sitä aineistoa, joka käyttää yksikkönä koko koealaa, kutsumme

seuraavassa A-aineistoksi ja sitä osaa aineistosta, joka perustuu molempien reunakoealojen tunnuksiin, kutsutaan B-aineistoksi.

Kesällä 1979 kerätystä aineistosta käytetään seuraavassa nimitystä U-aineisto (uusi aineisto) ja sen antamalla tuloksilla pyritään testaamaan ja varmistamaan aikaisemmin kerätyn aineiston heikkouksien aiheuttamia epävarmuuksia. Tällaisia ovat ojamaahukan eliminoiminen kuutiomäärä- ja kasvutunnuksista sekä ojan syvyyden ja ojan kunnan uudelleen mittaukset ja arvioinnit näiden tärkeiksi osoittautuneiden tunnusten uusinta- ja kontrollimittauksina. Lisäksi U-aineisto sisältää uuden selitettävän puustotunnuksen, sädekasvun, jonka toivotaan varmistavan ja täydentävän aikaisemman aineiston puustotunnuksia.

### 3. KÄYTETYT MUUTTUJAT

#### 31. Selitettävät muuttujat

Selitettävät muuttujat luetellaan ja kuvataan seuraavassa. Liite 1. sisältää luettelon muuttujista ja niiden suppean kuvauksen.

Kuutiomäärätunnukset ovat reunakoealojen (Va, Vb ja näiden keskiarvo Vo), keskikoealan (Vc) ja koko koealan (Vka) kuutiomäärät.

Oman ryhmänsä muodostavat reunakoealojen ja keskikoealan kuutiomäärien erotukset (Vo-c, Va-c ja Vb-c) sekä näiden samojen koealojen suhteet sadanneksina (Vpo/c, Vpa/c ja Vpb/c).

Kuutiokasvun tunnuksot muotoutuvat samoin kuin kuutiomäärätunnuksetkin (I5a, I5b, I5o, I5c ja I5ka). Vastaavalla tavalla syntyvät reunakoealojen ja keskikoealan kuutiokasvujen erotukset I5o-c, I5a-c ja I5b-c) sekä samat suuret sadanneksina ilmaistuna (I5po/c, I5pa/c ja I5pb/c). Kymmenen vuoden kuutiokasvulukujen perusteella saadaan I10a, I10b jne.

Kuutiokasvuprosentin avulla on muodostettu samat tunnuksot kuin kuutiokasvunkin perusteella, siis ensin viiden vuoden kasvuprosentit eri koealoille (P5a, P5b, P5o, P5c ja P5ka), tämän jälkeen niiden erotukset (P5o-c, P5a-c ja P5b-c) sekä samat sadanneksina (P5po/c jne.). Vastavat tunnuksot laskettiin myös 10 vuoden kasvun perusteella (siis P10a, P10b jne.).

Lopuksi on laskettu joukko 5 vuoden ja 10 vuoden kasvun erotusta osoittavia tunnuksia (Iea, Ieb, Iec jne.).

U-aineistossa on pääpaino sädekasvumittauksilla erikseen ojan reunakoealoilta ja keskisaralta. Sädekasvut esitetään kolmena viiden vuoden ryhmänä, v. 1979-75, v. 1974-70 ja v. 1969-65 (IS5a, IS5b, IS5c, IS10a jne.). U-aineistossa esitetään myös kuutiomäärä ja -kasvutunnukset siten, että ojamaahukka on otettu huomioon.

#### 32. Selittävät muuttujat

Seuraavassa esitellään selittävät muuttujat ja esitetään niistä muutamia pääpiirteitä.

Liitteessä 2. esitetään muuttujien luettelo ja niiden suppea kuvaus.

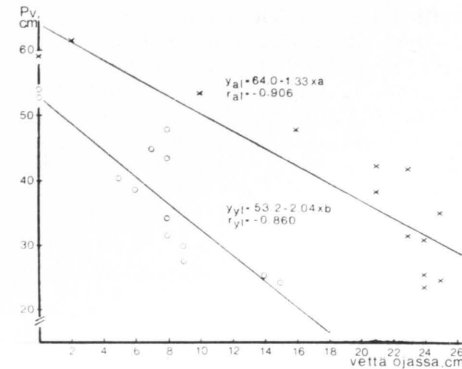
Luonnonolosuhteista johtuvat kasvutekijät ovat seuraavat, viljavuus boniteettina ilmaisten (bo) (vrt. HEIKURAINEN 1978), geometrinen sarkaleveys eli lyhin ojen välinen etäisyys (Sg), efektiivinen sarkaleveys, jolla tarkoitetaan pääkaltevuuden suuntaista ojen välistä etäisyyttä (Se). Vaaitusten perusteella laskettiin seuraavat muuttujat: maanpinnan kaltevuus (Km), ojen pohjien kaltevuus (Ka ja Kb sekä Ko). Näiden lisäksi kokeiltiin vielä eräitä muita tähän ryhmään kuuluvia tunnuksia kuten saran profiilin kaltevuus (Ps) sekä a- ja b-puoliskojen profiilin kaltevuudet (Pa, Pb).

Kuivatusteknisistä muuttujista on ensin mainittava ojen syvyydet sellaisenaan (Osa, Osb, Oso) sekä mahdollinen ojamaavirhe<sup>1)</sup> korjattuna (Oska jne.). Ojen kunto (Oka, Okb ja Oko) arvioitiin kuten edellä jo mainittiin luokissa 1, 2 ja 3. Oman ryhmänsä muodostavat U-aineiston ojansyvyysmittaukset sekä U-aineiston ojankunnon arviointi, joita esiteltiin jo aikaisemmin (s. 7).

Kuivatusteknisiin muuttujiin kuuluu myös »vesi ojassa»-käsite eri johdannaisineen (Vova, Vovb, Vovo, Voka, Vokb, Voko, Vora, Vorb ja Voro). Kaikki nämä tunnuksot heijastelevat ojan tehoa ja ne on saatu pohjavesipinnan syvyyden (y) ja ojassa olevan veden korkeuskulmien (x) regressiona kaavasta  $y = a + bx$ , jossa siis a = v (vakio), b = k (kerroin) ja r on funktion korrelaatiokerroin (vrt. kuva 3).

Mainitut tunnuksot ilmaisevat seuraavia ominaisuuksia: Vov kuvaa sitä kuinka pitkään ojassa on vettä kuivumisen (esim. keskikesällä) edistyessä, Vok ilmaisee ojan tyhjentymisen, eli mitä jyrkempi on suora sitä nopeammin oja tyhjenee, Vor puolestaan ilmaisee ojassa olevan vesipinnan korkeuden.

<sup>1)</sup> Koska ojan syvyyden mittaus tapahtui ojan penkältä, jossa liian lähelle jääneet ojamaat tai auran siipien aiheuttama ojan penkan repiminen saattoivat aiheuttaa virhettä, laskettiin vaaitustulosten perusteella ojan teoreettinen syvyys ns. korjattu ojansyvyys (Osk) (ojanpohjan korkeus - 5 m ojasta kulkevan linjan korkeus).

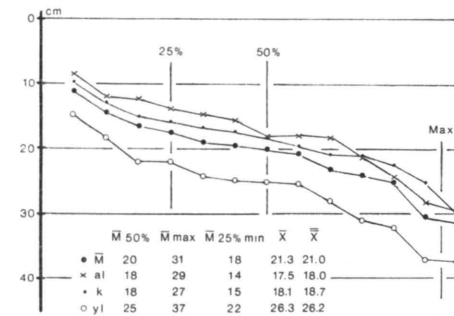


Kuva 3. Vo-tunnuksen arvojen regressio koealalla 20.

Fig. 3. Regression of values for the Vo-factor on sample plot 20.

keuden ja pohjavesipinnan korkeuden välistä korrelaatiota tai mahdollisista mittavirheistä aiheutunutta hajontaa.

Vesitaloutta kuvaavat muuttujat ovat pohjavesipinnan syvyyttä osoittavia lukuja. Koealan keskimääräinen pohjavesipinnan syvyys lasketaan kaikkien pohjavesikaivojen keskiarvokuvaajasta ( $\bar{M}$ ) sen keskeltä ( $Pv\bar{M}$ ), minimi ( $Pv\bar{M}_{min}$ ) lasketaan keskiarvokuvaajan yläkvarttiilina ja maksimi ( $Pv\bar{M}_{max}$ ) kahden suurimman arvon keskiarvona (vrt. kuva 4).



Kuva 4. Pohjavesisyvyyden arvojen laskeminen koealalla 2.

Fig. 4. Calculation of the values for groundwater depth on sample plot 2.

Samalla tavalla laskettiin koealan keskilinjan (k) pohjavesikaivoista vastaavat arvot ( $Pvk_{min}$ ,  $Pvk_{\bar{M}}$  ja  $Pvk_{max}$ ) sekä yksinomaan B-aineiston käsittelyä varten a-ojan ja b-ojan (tai ylä- ja alaojan) kaivoilinoista vastaavat arvot ( $Pv_{amin}$ ,  $Pv_{a\bar{M}}$ ,  $Pv_{amax}$ ,  $Pv_{bmin}$ ,  $Pv_{b\bar{M}}$  ja  $Pv_{bmax}$ ). Kuvasta 4 nähdään, että  $\bar{M}$  50 % on varsin lähellä kaikkien kaivojen keskiarvoa ( $\bar{X}$ ) ja myös ns. pohjavesikorkeuden kestoperiaatteella laskettua keskiarvoa ( $\bar{X}$ ) (vrt. HEIKURAINEN 1971). Seuraavassa on käytetty  $\bar{M}$  50 %- arvoja keskiarvoina.

#### 33. Eräitä näkökohtia muuttujien mittaamisesta

Selitettävät muuttujat perustuvat kaikki koealoilla suoritettuihin kuutiointi- ja kasvunlaskentamittauksiin. Koepuut otettiin osakoealojen keskiviivan tuntumasta ja ne kairattiin. Kairanlastut säilytettiin ja mitattiin sisätyönä lustomikroskoopilla. Kuutiointissa ja kasvunlaskennassa käytettiin Ilvessalon laskentataulukoita (ILVESSALO 1948). U-aineiston sädekasvumittaukset tehtiin samaan tapaan kuin kuutiointin sädekasvumittauksetkin (kts. s. 7).

Selitettävien tunnusten mittaamisesta mainittakoon seuraavaa. Kun koealojen etsintä tapahtui aluperin KML Tapion metsänparannushankkeiden arkistosta ja eräiden yhtiöiden vastaavista asiakirjoista, oli alkuperäinen suotyypitiedossa. Suotyypit pyrittiin lisäksi tarkistamaan kentällä. Geometrinen sarkaleveys mitattiin kentällä ja tapauksissa, jolloin ojat eivät olleet tarkalleen toistensa suuntaiset, oli sarkaleveys koealan molempien päiden pituuden keskiarvo. Mittaus suoritettiin ojan keskiviivasta, täten ojen aiheuttama ns. ojamaahukka on pinta-alassa mukana. U-aineistossa ojamaahukka on eliminoitu, näin ollen U-aineistossa saran reunakoealojen samoin kuin koko koealankin kuutiomäärät ja kuutiokasvut ovat suurempia kuin A- ja B-aineistoissa.

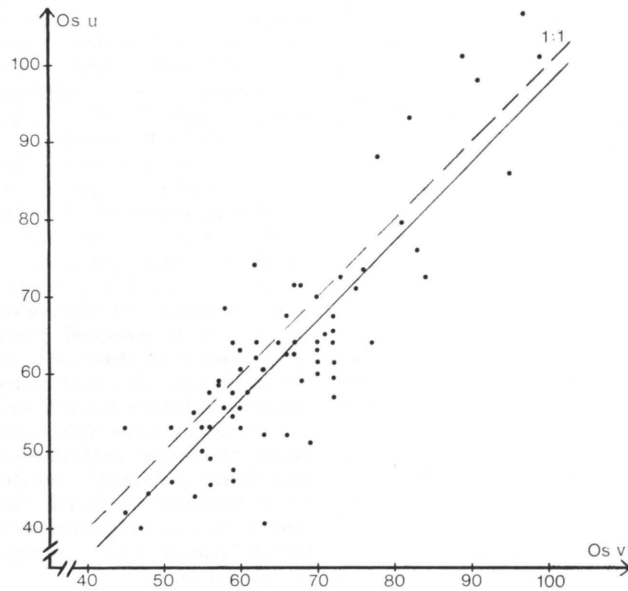
Efektiivinen sarkaleveys mitattiin kartalta sen jälkeen kun vaaitustulosten perusteella oli piirretty korkeuskäyrät. Saman kartan (vrt. kuva 2) avulla laskettiin maan-

pinnan kaltevuus, cm/m. Vaaitustuloksia käytettiin ojien kaltevuutta sekä muita kaltevuuden perustuvia muuttujia laskettaessa.

Ojan syvyys laskettiin viiden metrin väleihin vaaituksen yhteydessä tehtyjen syvyysmittausten keskiarvona senttimetrin tarkkuudella. U-aineistossa ojan syvyys mitattiin uudellen kuten edellä esitettiin tavoitteena entistä luotettavampi ojasyvyystieto. U-aineistossa, joka mitattiin vuotta myöhemmin kuin aikaisempi aineisto, ojien syvyyden keskiarvoksi saatiin 62.96 cm, joka on lähes tarkalleen 3 cm pienempi kuin aikaisemman aineiston mukaan (65.97). Kuvassa 5 esitetään vanhan ja uuden aineiston vertailu. Voitaneen todeta, että yksittäisissä tapauksissa mittausten tulokset poikkeavat toisistaan aika paljonkin. U-aineiston mittaus on luotettavampi, mm. ojamaat saattavat pienentää aikaisemman mittausten luotettavuutta.

Ojan kunto arvioitiin alun perin luokkina 1 (hyvä), 2 (kohtalainen) ja 3 (huono) ja arvioinnissa käytettiin aikaisemmissa julkaisuissa esitettyjä ohjeita (HEIKURAINEN 1959). Osoittautui kuitenkin tarpeelliseksi antaa myös »väliarvoja» esim. 2–3. Kun lisäksi oli tarpeen laskea a- ja b-ojan keskiarvoja, lopullisessa tiedostossa käytettiin luokitusta 20, 25, 30, 40, 45, 50, 55, 60, joka saatiin kertomalla kentätulokset 20:llä. Myös ojien kunto arvioitiin kesällä 1979 uudelleen. Tässä U-aineistossa luokitus oli hieman edellä selostetusta poikkeava kuten s. 7 lähemmin esitettiin. Keskiarvot ovat lähellä toisiaan näissä kahdessa arvioinnissa (v. 1978 43.2 ja v. 1979 42.3), vaikka arviointiperusteiden erilaisuudesta johtuen uusi ojan kunnon arviointi poikkeaa aika tavalla vanhasta (vrt. kuva 6).

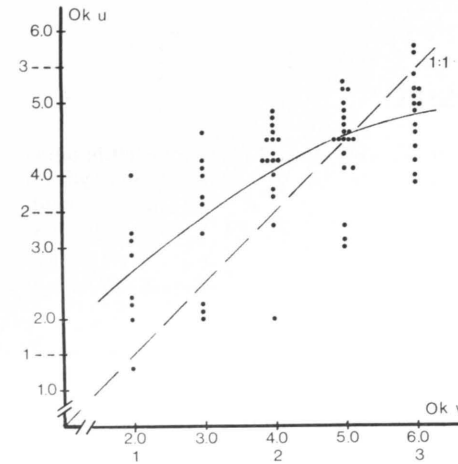
Vo- suureista oli puhetta jo edellä. Tässä yhteydessä todettakoon vain, että »vetä ojassa»-arvot saatiin kerta viikossa pohja-



Kuva 5. Uusi ja vanha ojasyvyyden mittaus.

$$y = -4.587 + 1.022x; R^2 = 0.736, r = 0.897.$$

Fig. 5. New and old measurement of ditch depth.



Kuva 6. Uusi ja vanha ojankunnon arviointi (kts. tekstiä).

Fig. 6. New and old estimates of ditch condition (see text).

vesisyyden mittausten yhteydessä suoritettuihin mittauksissa. Ojan pohjaan koelalan sivun keskikohtaan löyty paalu toimi O-tason ja lukemat saatiin vesisyydestä sen päällä.

Pohjavesisyvyyden mittaukset tehtiin edellä selostetulla tavalla asetetuista kairalla 1 m:n syvyisiksi tehdyistä kaivoista. Vesipinnan syvyys mitattiin ennen kenttätöiden alkua suunniteltuina päivinä aamupäivällä. Samalla merkittiin muistiin oliko mittausta edeltävänä päivänä ja yön aikana satanut ja minkä verran. Läheisiltä säähavaintoasemilta selvitettiin sateen määrä. Nämä varotoimet nähtiin tarpeellisiksi mahdollisten sateen jälkeisten mittausten hylkäämistä silmällä pitäen. Loppujen lopuksi tällaisia hylkäämisiä ei tarvinnut tehdä.



## 4. TULOKSET

### 41. Tulosten esittämisen suuntaviivat

Tuloksia tarkastellaan seuraavassa järjestyksessä. Ensin tarkastellaan kuutio- ja kasvutunnusten korreloitumista erilaisten selittävien muuttujien kanssa. Alustava selvitys tehdään korrelaatiomatriisin avulla.

Korrelaatiokertoimien antamien viitteiden mukaan mielenkiintoisimpia vuorosuhteita on tutkittu valikoivan regressioanalyysin avulla. Askeltavan regressioanalyysin tulokset esitetään seuraavassa yleensä siten, että korrelaatiomatriisin antamien viitteiden perusteella konstruoitu ja laskettu askeltava regressioanalyysi muodostaa rungon. Kunkin tarkasteltavaksi otetun selittävän muuttujan selittäjät esitetään korrelaatiokertoimien suuruuden osoittamassa järjestyksessä. Selittäjät on ryhmitelty niin, että ensimmäisen ryhmän muodostavat ne, jotka valikoivassa regressiossa ovat lisänneet selitystä merkittävästi ( $T:n$  arvo on ollut merkitsevä 5 %:n riskillä), loppuryhmän muodostavat ne selittäjät, joiden mukaan ottaminen on vielä lisännyt selitysarvoa ( $R^2:n$  lukuarvo on kasvanut). Molempien ryhmien jälkeen on merkitty askeltavan regressioanalyysin  $R^2:n$  lukuarvot. Näin koostettua asetelman muotoon laadittua lukusarjaa kutsumme seuraavassa *selityssarjaksi*. Esimerkkinä selostettakoon kuutiomäärän (Vka) selityssarja: Vka-muuttujaa selittivät korrelaatiomatriisissa  $Pvk\bar{M}$  (.536) Kyl (.435), bo (.404), Ko (.358) jne. Askeltavassa regressioanalyysissä kaksi ensiksi mainittua osoittautuivat 5 %:n riskillä merkitseviksi. Tällöin  $R^2:n$  arvo oli .381.  $R^2:n$  lukuarvo lisääntyi vielä kun muuttujat bo ja Ko otettiin mukaan. Tällöin  $R^2:n$  arvo oli .400. Näin syntyy Vka:n selityssarja (vrt. luvun 42 alussa).

Mielenkiintoisimmista vuorosuhteista on laskettu yhden tai kahden muuttujan regressioita, ja tuloksia esittäviin kuviin on usein merkitty näkyviin myös primääriaineisto, tavallisesti toiseksi parhaan selittäjän mukaisesti luokiteltuna.

Aineiston käsittelyn yhteydessä seuraavanlainen tulosten esittelyn päälinja osoit-

tautui aiheelliseksi. Ensin tarkasteltiin puuston kuutio- ja kasvutunnusten selittymistä mahdollisimman monipuolisesti. Ylivoimaiseksi pääselittäjäryhmäksi osoittautui pohjavesipinnan syvyys. Tämän jälkeen näytti aiheelliselta tarkastella mitkä tekijät selittävät pohjavesipinnan syvyyttä. U-aineiston varassa oli mahdollista uusintamittausten pohjalta tarkistaa saatuja tuloksia. Lisäksi saatiin vielä uusi selittävä muuttuja, sädekasvu, joka tarjosi mahdollisuuden tarkastella kasvun kehitystä ojituksen jälkeen monipuolisemmin kuin kuutiokasvu.

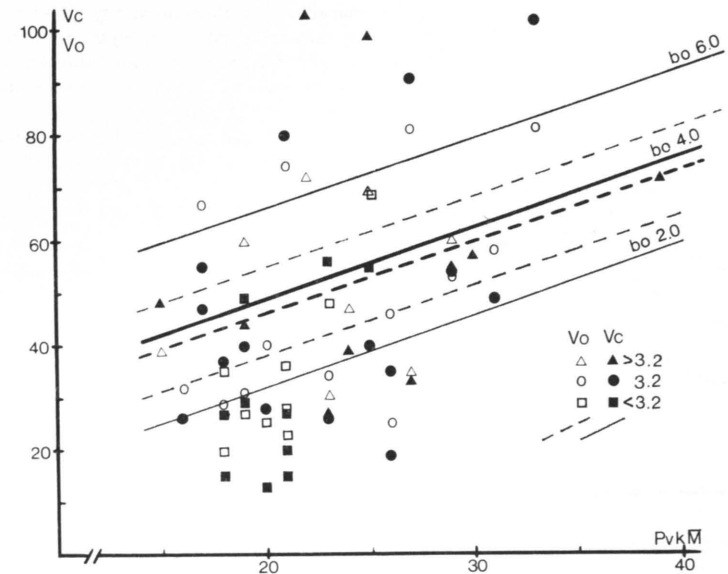
### 42. Kuutiomäärä

Seuraavassa asetelmassa esitetään koalojen *kuutiomäärien* selityssarjat erikseen saran reunakoalojen ja keskisaran sekä koko koalan osalta A-aineiston valossa.

Vo  $\triangleright$   $Pvk\bar{M}$  (.564) | .315 |, bo (.343), Kyl (.341) | .357 |  
 Vc  $\triangleright$  Kyl (.476),  $Pvk\bar{M}$  (.467) | .367 |, bo (.415) Ko (.369) | .401 |  
 Vka  $\triangleright$   $Pvk\bar{M}$  (.536) | Kyl (.435) | .381 |, bo (.404), Ko (.358) | .400 |

Selityssarjat osoittavat, että kuutiomäärää selittävät parhaiten pohjavesipinnan syvyys, yläojan kaltevuus ja boniteetti. Kuvasta 7 nähdään, että riippuvuus on varsin samanlainen saran eri osissa ja että 10 cm:n pohjavesisyvyyden muutos merkitsee n. 14 kuutiometrin muutosta. Boniteetin vaikutus on saran reunan koaloilla huomattavasti pienempi kuin saran keskellä. Edellisillä se on n. 4.3 m<sup>3</sup>/bo-luokka, jälkimmäisellä melko tarkalleen kaksinkertainen. Tämä johtuu lähinnä ojamaahukasta. Se, että saran keskiosissa kuutiomäärä on suurin piirtein sama kuin ojan reunakoaloilla selittyy myös ojamaahukasta johtuvaksi.

B-aineiston korrelaatiomatriisi vahvistaa edellä saatuja tuloksia. Pohjavesisyvyyden osalta korrelaatiokertoimet ovat vielä suurempia kuin A-aineistossa:  $Vyl/Pvk\bar{M}$  (.530),



Kuva 7. Pohjavesisyvyyden ( $Pvk\bar{M} = x_1$ ) vaikutus kuutiomäärään boniteetti-luokittain ( $bo = x_2$ ).

$$y(Vo) = 1.823 + 1.364x_1 + 4.33x_2; R^2 = 0.281, r = 0.530.$$

$$y(Vc) = 12.614 + 1.367x_1 + 8.59x_2; R^2 = 0.247, r = 0.497.$$

Fig. 7. Effect of the groundwater depth ( $Pvk\bar{M} = x_1$ ) on the stand volume by site quality index classes ( $bo = x_2$ ).

Val/ $Pvmin$  (.637), Vo/ $Pvmin$  (.542). Erilaisilla pohjavesisyvyyden tunnuksilla korrelaatiokertoimien arvot olivat suurin piirtein saman suuruisia, edellä esitetyt olivat kuitenkin suurimpia. Kuvassa 8 nähdään pohjavesisyvyyden vaikutus kuutiomäärään boniteetti-luokittain. Kuva vahvistaa A-aineiston edellä antamaa tulosta. Se viittaa kuitenkin myös siihen, että regression ei välttämättä tarvitse olla suora. Ilmeisesti kuvaajalla olisi myös infleksiopiste, jopa optimipistekin kuten kuvaan on piirretty. Tutkimuksen aineisto ei tosin sinne asti yllä.

Pohjavesisyvyyden ja boniteetin lisäksi yläojan kaltevuus osoittautui hyväksi kuutiomäärän selittäjäksi. Erityistä mielenkiintoa on sillä seikalla, että kyseessä on nimenomaan yläojan kaltevuus. B-aineiston korrelaatiomatriisi vahvistaa tätä voimakkaasti. Yläojan kohdalla ojan kaltevuuden

(Kyl) korrelaatiokerroin on (.414), alaojan vain (.115).

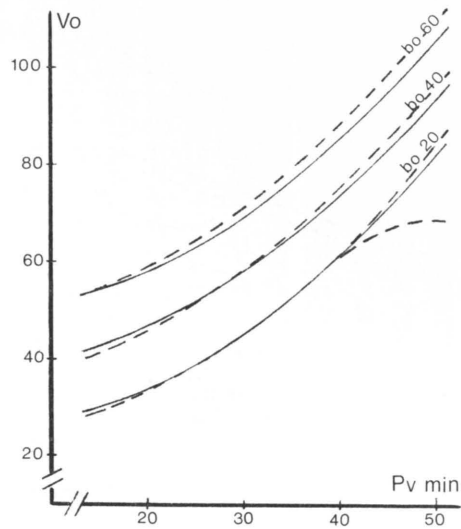
U-aineisto tukee vanhemman aineiston tuloksia. A-aineiston selityssarjajärjestyksessä korrelaatiokertoimet ovat seuraava, ensin yläojan kerroin.

Vo  $\triangleright$  Pv (.386) (.399), bo (.420) (.451), Ko (.559) (.175)

Vc  $\triangleright$  Pv (.285) (.285), bo (.426), (.421) Ko (.507) (.271)

Vka  $\triangleright$  Pv (.358) (.358), bo (.458) (.447), Ko (.512) (.294)

Erityisen painokkaana tulee tässä aineistossa esille yläojan kaltevuuden vaikutus ja yläojan — alaojan suhde tässä mielessä. Yläojan kohdalla ovat kertoimet varsin suuria kaikilla osakoaloilla, alaojan kohdalla kertoimet ovat paljon pienempiä.



Kuva 8. Pohjavesisyvyyden ( $Pv_{min} = x_1$ ) vaikutus saran reunan kuutiomääriin ( $Vo = y$ ) boniteettiluokittain ( $bo = x_2$ ). Kokoviivat koko aineisto, katkoviivat alaojan aineisto.

$y_o = 12.868 + 0.023x_1 + 6.07x_2$ ;  $R^2 = 0.353$ ,  $r = 0.594$

$y_{al} = 11.330 + 0.024x_1 + 6.42x_2$ ;  $R^2 = 0.478$ ,  $r = 0.691$ .

Fig. 8. Effect of the groundwater depth ( $Pv_{min} = x_1$ ) on the stand volumes ( $Vo = y$ ) of the ditch-side sample plot by site quality index classes ( $bo = x_2$ ). Continuous lines for the whole material, dashed lines for the material from the lower ditch.

Kuutiomäärän regressio, jossa pohjavesipinta ( $Pv_{kM}$ ) ja viljavuus ( $bo$ ) ovat selittäjinä ovat pitkälle samanlaisia kuin kuvassa 7 esitetty:

yläoja  $y = -1.38 + 1.30 x (Pv) + 11.21x_2 (bo)$

alaoja  $y = -2.33 + 1.13 x (Pv) + 10.5 x_2 (bo)$

Vertailu kuvaan 7 osoittaa, että oleellisin ero on siinä, että kuutiomäärät ovat U-aineistossa suurempia. Tämä on tietysti ojamaahukan aiheuttama. Pohjavesisyvyyden vaikutus on varsin samanlainen, mutta boniteetin vaikutus on U-aineiston mukaan siihen viittaava, että loppujen lopuksi viljavuuden vaikutus lienee sittenkin lähes samanlainen ojan reunan koaloilla ja keski-

saralla. A-aineistossa boniteetin kerroin keskisaralla oli 8.59, ojan reunan saroilla vain 4.33, nyt kun ojamaahukka on otettu huomioon on kerroin lähes sama kuin saran keskellä.

Saran reunan ja keskisaran kuutiomäärien erotus on mielenkiintoinen tarkastelun kohde, sehän ilmeisesti heijastelee kuivatuksen onnistuneisuutta. A-aineistossa korrelaatiomatriisi osoitti, että erotuksen prosenttinen ( $Vp/c$ ) tunnus on ehkä mielenkiintoisempi kuin itse kuutiomäärien ero ( $Vo - c$ ). Selityssarjaksi saatiin:

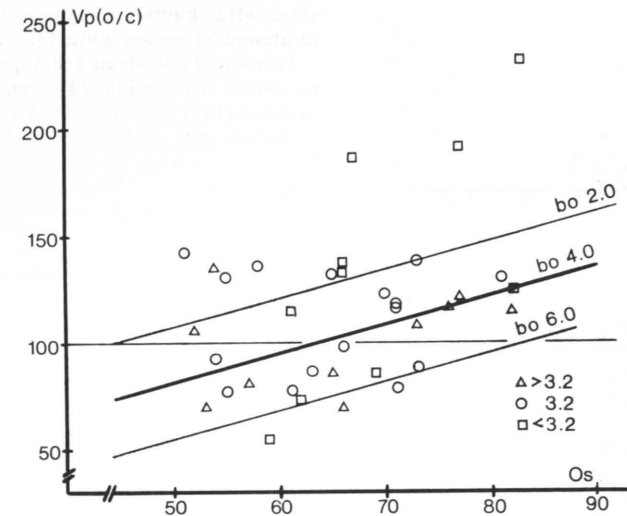
$Vp/c \rightarrow Os (.402)$ ,  $Voko (-.397)$  |  $.283$  |  $bo (-.357)$ ,  
 $Kyl (-.311)$  |  $.371$  |

Ojan syvyys ja ojan tyhjenemistä mittaava  $Vo$ -tunnus ovat parhaita selittäjiä. Boniteetti ja yläojan kaltevuus lisäävät vielä regressiomallin selityssastetta.

Kuvassa 9 näemme, että ojan syvyyden lisääntyessä lisääntyy myös saran reunan ja keskisaran kuutiomäärien ero. Ojamaahukka aiheuttaa sen, että melkoisella osalla tapauksia sadannes on pienempi kuin 100 eli ojan reunan kuutiomäärä on pienempi kuin keskisaran. Itse asiassa koko aineiston perusteella keskiarvot ovat lähes samat, saran reunan 46.9 ja keskisaran 46.1  $m^2/ha$ . Ojamaahukka otettuna huomioon luvut ovat 60.3 ja 46.1  $m^2/ha$ . Palaamme tähän vielä U-aineiston käsittelyn yhteydessä.

Kuvan 9 perusteella tarkastellen on viljavuuden vaikutus mielenkiintoinen. Kuutiomäärien erot saralla ovat sadanneksina ilmaisten sitä suurempia mitä heikompi on suon viljavuus. Tämä lienee tulkittava siten, että karuilla soilla keskisaran kuutiomäärien lisääntyminen saran reunan puustoon verrattuna on hidasta, kun puolestaan viljavilla soilla keskiosankin puuston kehitys on ollut ripeää.

B-aineistossakin ojan syvyys osoittautui parhaaksi selittäjäksi ja muutenkin B-aineiston tulokset olivat hyvin samankaltaisia kuin edellä esitetyt A-aineiston tulokset. Korrelaatiokertoimet olivat usein jopa suurempia ja regressiomallien selityssasteet korkeampia kuin A-aineistossa. Erityisesti alaojan aineistossa regressiomallin toisen asteen kuvaaja ( $y = -8.315 + 0.015x^2$ ) jonka verran paransi mallin selityssastetta,  $R^2 = .264$ ,  $R = 0.514$  (vrt. kuvan 9 selitys).



Kuva 9. Ojan syvyyden ( $Os = x_1$ ) vaikutus saran reunan ja keskisaran kuutiomäärien sadanneksina ilmaistuun eroon ( $Vp/c = y$ ) boniteettiluokittain ( $bo = x_2$ ).

$y = 66.071 + 1.382x_1 - 13.14x_2$ ;  $R^2 = 0.238$ ,  $r = 0.488$ .

Fig. 9. Effect of ditch depth ( $Os = x_1$ ) by site quality index classes ( $bo = x_2$ ) on the difference between the stand volumes of the ditch-side sample plot and the centre sample plot, given in hundredths ( $Vp/c = y$ ).

B-aineistossa minimi-pohjavesipinnan syvyys ( $Pv_{min}$ ) oli paras selittäjä saran reunan ja keskisaran kuutiomäärien eroille. Pienillä pohjavesipinnan syvyyksillä (heikoissa kuivatusoloissa) ojan reunan kasvuolosuhteiden paremmuus ei ole kyennyt korvaamaan ojamaahukkaa ja ojanreunakoealojen kuutiomäärät ovat jääneet pienemmiksi kuin keskisaran kuutiomäärät (vrt. kuva 10). Vasta pohjavesipinnan minimisyvyydellä 25 cm ojan reunan kuutiomäärät ylittävät keskisaran kuutiomäärät ja sitä enemmän mitä suurempi on  $p_v$ -syvyys.

U-aineiston perusteella ojan reunan ja keskisaran koalojen ero on paljon suurempi kuin edellisissä aineistoissa, joissa ojamaahukka keskimäärin ottaen eliminoi ojan reunan kuutiomäärien suuremmuuden, kuten edellä todettiin. U-aineistossa ojan reunakoealojen kuutiomäärät ovat selvästi

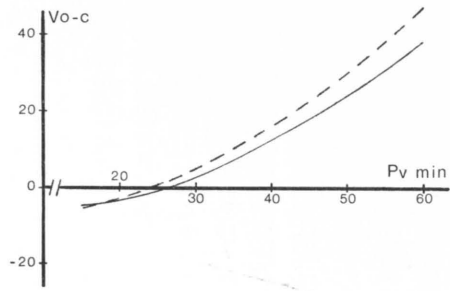
suurempia kuin keskisaran, kuten nähdään seuraavasta asetelmasta:

$Vo - c$ : yläoj. 13.0, alaoj. 16.6 ja keskim. 14.3  $m^3/ha$

U-aineiston korrelaatiomatriisi ei kuitenkaan tuonut mitään uutta esille.

### 43. Kuutiokasvu

Kuutiokasvu laskettiin sekä 5 v:n että 10 v:n kasvuna. Nämä kasvuluvut luonnollisesti korreloivat keskenään erittäin kiinteästi, korrelaatiokertoimet ovat ojan reunakoealoilla (.987) ja keskisaran koaloilla (.983). On näin ollen lähes yhdentekevää kumpaa kasvulukua käytetään pyrittäessä selittämään kasvua.



Kuva 10. Pohjavesipinnan syvyyden ( $Pv_{min} = x$ ) vaikutus saran reunan ja keskisaran kuutiomäärien eroihin ( $Vo - c = y$ ). Kokoviiva koko aineisto, katkoviiva alaojan aineisto.

$$y_o = -8.134 + 0.013x^2; R^2 = 0.161, r = 0.401$$

$$y_a = -8.315 + 0.015x^2; R^2 = 0.264, r = 0.514.$$

Fig. 10. Effect of the level of the groundwater depth ( $Pv_{min} = x$ ) on the differences between the stand volumes of the ditch-side sample plot and the centre sample plot ( $Vo - c = y$ ). Continuous line for the whole material, dashed line for the lower ditch.

Seuraavassa esitetään kuutiokasvun selityssarjat 10 v:n kasvolukujen perusteella A-aineiston valossa:

$$I_o \rightarrow Pvk\bar{M} (.610) | .376 |, Kyl (.371), bo (.368), Vor (.327), Vov (.327) | .492 |$$

$$I_c \rightarrow Pvk\bar{M} (.622), bo (.560) | .497 |, Kyl (.438), Ko (.346) | .563 |$$

$$I_{ka} \rightarrow Pvk\bar{M} (.610) | .390 |, Kyl (.416), bo (.478), Vor (.305), Vov (.285) | .491 |$$

Selityssarjat ovat pitkälle yhdenmukaisia kuutiomäärän selityssarjan kanssa, korreloivat kuutiomäärän ja kuutiokasvu toistensa kanssa kiinteästi, esim.  $Vo/I_{10o}$  (.779). Pohjavesisyvyys osoittautui kaikilla osakoealoilla selvästi parhaaksi selittäjäksi. Keskisaran kohdalla myös boniteetti mahtui merkittäviin selittäjiin ja ojan reunan koealoillakin se lisäsi selitysstettä. Yläoan kaltevuus samoin kuin ojen tehoa kuvaavat  $Vo$ -muuttujatkin lisäsivät regressiomallin selityskykyä. Merkille pantavaa lienee se, että kuutiokasvun selityssarjan luotettavuusarvot ( $R^2$ ) ovat suurempia kuin kuutiomäärän vastaavat. Tämä johtunee osaksi

siitä, että kuutiomäärätunnusta »rasittaa» kuutiomäärä ennen ojitusta.

Kuvasta 11 voidaan todeta, että »keskimäisellä» boniteetilla (4) kuutiokasvu on keskisaralla ja ojen reunakoealoilla lähes tarkalleen sama. Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, että todellisuudessa kasvu olisi sama keskellä sarkaa ja ojan reunalla. Edellisellä pohjavesisyvyyden keskiarvo on 25 cm ja jälkimmäisellä 43 cm, vastaavat kasvuluvut boniteetilla 4 ovat 2.2 ja 3.9  $m^3/ha/v$ .

B-aineistossa tulokset ovat samankaltaisia. Ojanreunakoealojen kuutiokasvua selittivät parhaiten pohjavesisyvyyden tunnuksat. Korrelaatiomatriisissa kertoimet olivat vielä suurempia kuin A-aineistossa,  $I_{5o}/Pv\bar{M}_{min}$  (.599),  $I_{10o}/Pv\bar{M}_{min}$  (.574).

U-aineisto, jossa ojamaahukka on eliminoitu osoittaa samaa kuin A- ja B-aineistokin. Kuutiokasvua selittävät voimakkaimmin pohjavesisyvyys ja boniteetti. Korrelaatiokertoimet ovat,  $I_{5ka}/bo$  (.529),  $I_{5ka}/Pv$  (.517).

Saran reunan ja keskisaran koealojen kuutiokasvuerojen vertailu on tehty 10 vuoden kuutiokasvulukujen perusteella sadanneksina ilmaisten. Selityssarjaksi saatiin:

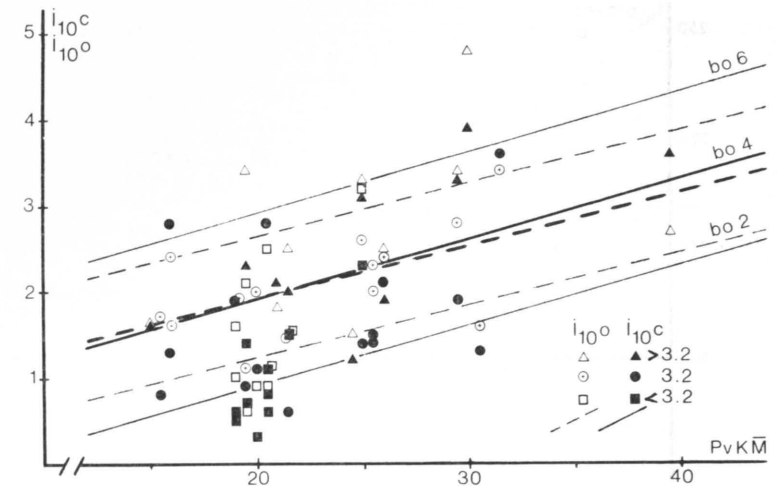
$$I_{10p}(o/c) \rightarrow bo (-.505), Km (-.417) | .353 |, Ko (-.372), Vor (.312), Ps (-.322), Os (.290) | .432 |$$

Viljavuus ja maanpinnan kaltevuus näyttävät selittävän parhaiten saran eri osien kuutiokasvun eroja. Maanpinnan kaltevuuden kanssa korreloivat ojen kaltevuus ja saran kaltevuus sekä ojen syvyys vielä lisäävät regressiomallin selittävyttä.

Mitä pienempi on kaltevuus ja mitä karumpi on suo sitä suurempia ovat erot, kuten nähdään kuvasta 12. Suotuisissa oloissa (hyvä viljavuus ja suuri kaltevuus) kasvu saralla on siinä määrin tasainen, että ojamaahukka huomioon ottaen keskisaralla kasvu ylittää ojanreunan puuston kasvun.

B-aineistossa osoittautuivat parhaiksi selittäjiksi boniteetin lisäksi ojan syvyys,  $I_{10o} - c/Os$  (.482). Muuten B-aineiston tulokset tukivat edellä esitettyjä A-aineiston tuloksia.

U-aineiston perusteella kuutiokasvun eroista saran eri osissa voidaan todeta, että kun ne edellisissä aineistoissa ojamaahukan



Kuva 11. Pohjavesisyvyyden ( $Pvk\bar{M} = x_1$ ) vaikutus kuutiokasvuun boniteettiluokittain ( $bo = x_2$ ).

$$y(I_o) = -0.735 + 0.063x_1 + 0.355x_2; R^2 = 0.367, r = 0.606.$$

$$y(I_c) = -1.516 + 0.071x_1 + 0.506x_2; R^2 = 0.496, r = 0.704.$$

Fig. 11. Effect of the groundwater depth ( $Pvk\bar{M} = x_1$ ) on volume increment by site quality index classes ( $bo = x_2$ ).

takia olivat lähes olemattomat, ne nyt ojamaahukan eliminoinnin jälkeen ovat selviä; yläoan aineistossa ojanreunakoealan kuutiokasvun keskiarvo oli 2.82  $m^3/ha/v$  ja alaojan aineistossa keskimäärin 3.28  $m^3/ha/v$ , keskisaran koealalla kasvu oli keskimäärin 1.97  $m^3/ha/v$ . Erot ovat siis varsin suuria, yläoan 0.35 ja alaojan 1.31  $m^3/ha/v$ . Oma mielenkiintonsa on sillä, että alaojan reunakoealojen kasvu on suurempi kuin yläoan reunakoealojen. Se selittynee ainakin osaksi yläoan ja alaojan syvyyden ja kunnan eroista johtuvaksi, kuten seuraava asetelmä osoittaa.

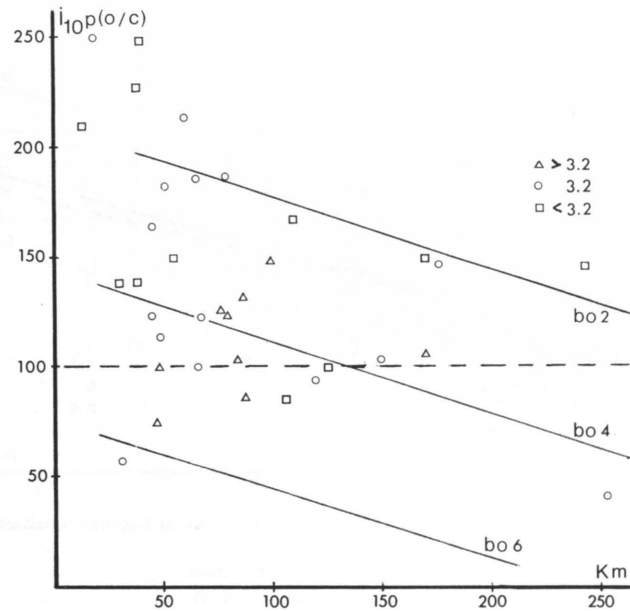
	yläoja	alaoja
Os	58.57	67.36
Ok	4.28	3.97

Kuutiokasvun kehitystä voidaan tutkia viiden vuoden ja kymmenen vuoden kuutiokasvun eroista (Ieka, I5ka - I10ka = Ieka). Tällä tavalla saattaa käydä ilmi onko kasvu esim. taantunut viime vuosien aikana, jolloin syy voisi olla esim. ojen rappeutumi-

nen. Valikoivassa regressioanalyysissä selityssarja muodostui seuraavanlaiseksi:

$$I_{eka} \rightarrow Pv\bar{M}_{min} (.588) | .346 |, Os (.323) | .383 |$$

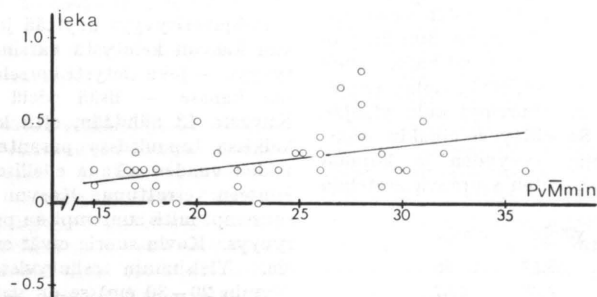
Pohjavesisyvyys näyttää jo yksin selittävän kasvuun kehitystä varsin pitkälle, ojan syvyys - joka tietysti korreloi hyvin edellisen kanssa - lisää vielä selitysstettä. Kuvasta 13 nähdään, että kasvu on lähes kaikissa tapauksissa parantunut viimeisen viiden vuoden aikana edelliseen viisivuotiskauteen verrattuna. Kasvun lisäys on sitä suurempi mitä suurempi on pohjavesipinnan syvyys. Kovin suuria eivät erot kuitenkaan ole. Yleisimmin esiintyvissä tapauksissa ( $Pv_{min}$  20-30 cm) se on vain n. 0.2 - 0.3  $m^3/ha/v$ . Tulos lienee tulkittava niin, että kasvu yleensä on tämän ikäisillä ojitusalueilla (n. 20 v) ja suhteellisen pienipuutisissa metsissä vielä lisääntymässä. Huonoissa kuivatusoloissa kasvun paraneminen on jäänyt vähäiseksi, mutta hyvissä kuivatusoloissa kasvun paraneminen on vielä



Kuva 12. Saran reunan ja keskisaran kuutiokasvujen erot sadanneksina ( $I10p^{\circ}/c = y$ ) maanpinnan kaltevuuden ( $Km = x_1$ ) ja boniteetin ( $bo = x_2$ ) funktiona.

$$y = 275 - 32x_1 - 33x_2; R^2 = 0.362, r = 0.602.$$

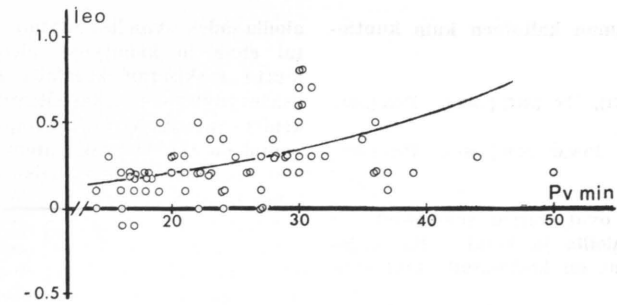
Fig. 12. Differences in hundredths between the volume increments on the ditch-side sample plot and the centre sample plot ( $I10p^{\circ}/c = y$ ) as the function of the gradient of the ground surface ( $Km = x_1$ ) and the site quality index ( $bo = x_2$ ).



Kuva 13. Kuutiokasvun kehitys viiden ja kymmenen vuoden kuutiokasvun erotuksena ( $Ieka = y$ ) ja sen riippuvuus pohjavesisyvyydestä ( $PvMmin = x$ ).

$$y = -0.105 + 0.015x; R^2 = 0.201, r = 0.448.$$

Fig. 13. Development of the volume increment as the difference between the five-year and ten-year increments ( $Ieka = y$ ) and its dependence on the groundwater depth ( $PvMmin = x$ ).



Kuva 14. Kuutiokasvun kehitys viiden ja kymmenen vuoden kuutiokasvun erotuksena saran reunan koealoilla ( $Ieo = y$ ) pohjavesipinnan syvyyden ( $Pvmin = x$ ) funktiona.

$$y = 0.078 + 0.0008x^2; R^2 = 0.222, r = 0.471.$$

Fig. 14. Development of the volume increment as the difference between the five-year and ten-year increments on the ditch-side sample plots ( $Ieo = y$ ), given as the function of the level of the groundwater depth ( $Pvmin = x$ ).

varsin selvää ja kohtalaisen suurtaakin. Huonoimmassa tapauksissa saattaa olla kyse jo kasvun taantumisestakin, kuten sädekasvun tarkastelussa nähdään (vrt. s. 23).

B-aineistossa ojan reunan koealoilla viiden vuoden ja kymmenen vuoden kasvuerot ( $Ieo$ ) selittyivät myös parhaiten pohjavesitunnuksilla. Kuvasta 14 nähdään, kuten A-aineiston perusteella saadusta kuvasta 13, että kuutiokasvu on lähes kaikissa tapauksissa lisääntynyt. Kuvan tulkinta on sama kuin A-aineiston käsittelyn yhteydessä esitetty.

On syytä panna merkille, että pohjavesisyvyyden minimiarvot ovat selittäneet viiden vuoden ja kymmenen vuoden kasvueroja parhaiten. Tämä saattaa viitata siihen, että pohjavesiminimit olisivat erityisen tärkeitä puuston kasvuille.

#### 44. Sädekasvu

U-aineiston sädekasvumittauksia on syytä tarkastella ensin niitä parhaiten selittävien viljavuuden ( $bo$ ), ojan kunnon ( $Ok$ ) ja pohjavesisyvyyden ( $Pv$ ) valossa. Ojan reunakoealojen kohdalla korrelaatiot olivat suurimpia 5 v:n sädekasvuilla ja pienimpiä 15 vuoden, kovin suurilla eivät erot kuitenkaan olleet.

Yläojan ja alaojan tulokset ovat tosin saman suuntaisia, mutta selviä erojakin on. Boniteetti selitti alaojan aineistoa paremmin, ojan kunto puolestaan yläojan aineistoa, kuten nähdään seuraavista korrelaatiokerrointen esimerkeistä:

yläoja IS5/ $bo$  (.370), -/ $Ok$  (-.315)

alaoja IS5/ $bo$  (.462), -/ $Ok$  (-.249)

Sädekasvun selittyminen pohjavesisyvyydellä on varsin voimakas, korrelaatiokertoimet ovat sekä ylä- että alaojan samoin kuin yhteisessäkin aineistossa varsin korkeita. Alaojan aineistoa selitti parhaimmin koko koealan  $Pv$ -suure, yläojan aineistoa puolestaan yläojan koealan  $Pv$ -mittaukset, kuten seuraava esimerkki korrelaatiokertoimista osoittaa:

yläoja IS5/ $Pvk$  (.432), -/ $Pvo$  (.488)

alaoja IS5/ $Pvk$  (.508), -/ $Pvo$  (.300)

Edellä esitetyt yläojan ja alaojan erot ilmaisevat samaa kuin edellä jo useaan kertaan esille tulleet tulokset, jotka viittaavat siihen että yläoja on hydrologisesti «tärkeämpi» oja.

Kuten seuraavasta IS5:n selityssarjasta, joka on laskettu koko aineiston (yläoja + alaoja) perusteella nähdään, on sädekasvun

selittyminen saman kaltainen kuin kuutio-  
kasvunkin.

IS5o ➤ PvkM̄ (.471), bo (.417) | .308 |, Pvo (.383),  
Ok (-.274) | .326 |  
IS5c ➤ bo (.592), PvkM̄ (.453) | .381 |, Pvo (.333),  
Ok (-.275) | .423 |

Selityssarjat ovat varsin samankaltaisia  
ojan reunakoealoilla ja keskisaralla, vilja-  
vuuden vaikutus on keskisaralla kuitenkin  
korostunut.

Korrelaatiokertoimen arvot pysyvät lähes  
samankaltaisina koko sädekasvun aikasar-  
jan, saran reunakoealoilla kertoimen arvot  
kuitenkin olivat 5 v:n tapauksissa suurimpia  
ja 15 v:n pienimpiä, kuten seuraava esi-  
merkki osoittaa.

saran reuna: IS5/bo (.417), IS10/bo (.396), IS15/bo  
(.375)  
keskisarka: IS5/bo (.532), IS10/bo (.542), IS15/bo  
(.547)

Oma mielenkiintonsa on ehkä sillä tulok-  
sella, joka osoittaa, että ojan kunnan seli-  
tyskyky eli Ok:n korrelaatiokerroin pienenee  
jyrkästi aikasarjassa, kuten seuraavassa ase-  
telmassa nähdään. Ojan kuntoa edustaa  
tässä yläojan aineisto, tulos on saman-  
suuntainen sekä alaojan aineistossa että yh-  
teisessäkin aineistossa.

	Ok 5	Ok 10	Ok 15
saran reuna .....	-.315	-.232	-.150
keskisarka .....	-.427	-.355	-.171

Lukusarjat viittaavat siihen, että ojan  
kunnan heikkeneminen on vähitellen alkanut  
vaikuttaa puuston kasvuun. Tämä kysy-  
mys on tutkimuksen oleellisimpia asioita,  
joten siihen on syytä syventyä yksityiskoh-  
taisesti.

Kuvassa 15 esitetään sädekasvun tasoa ja  
kehitystä viidentoista vuoden aikana erik-  
seen ojan reunakoealoilla ja keskisaralla  
koealoilla. Koska viljavuus ja pohjavesi-  
syvyys selittivät parhaiten sädekasvua, on  
asiaa syytä tarkastella toisaalta viljavuuden  
toisaalta pohjavesisyvyyden muuttuessa.

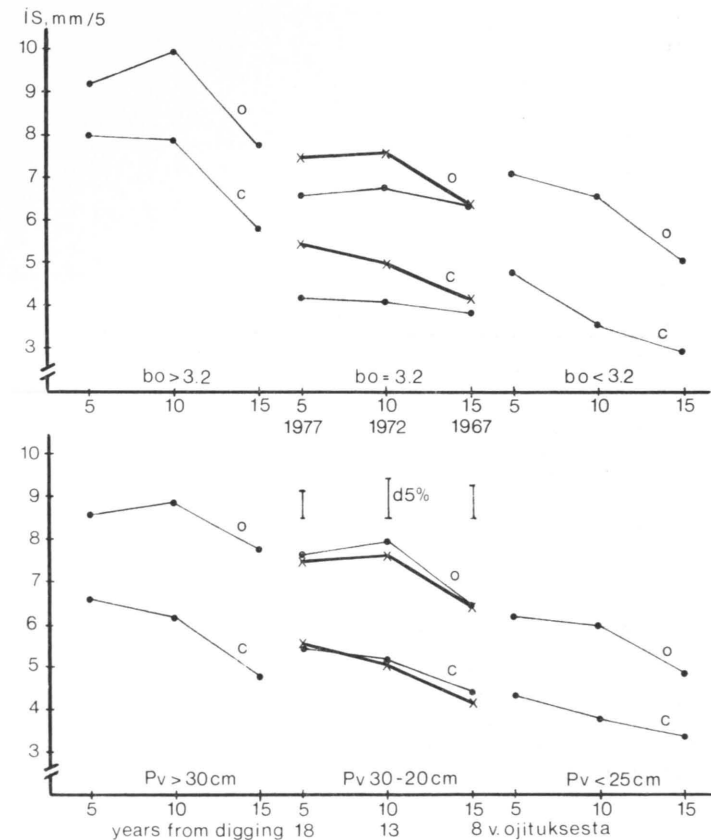
Kuvasta voimme todeta, että keskisaralla  
sädekasvu on huomattavasti pienempi kuin  
ojan reunan koealojen. Toiseksi näyttää  
ilmeiseltä, että yleensä ojan reunan koe-

aloilla sädekasvun lisääntyminen on loppunut  
tai ehkä jo kääntynyt pieneen laskuun,  
mutta keskisaralla koealoilla sädekasvu on  
lisääntynyt koko tarkasteltavan ajan. Tämä  
kehitys on sitä voimakkaampaa mitä vilja-  
vampi on suo ja mitä parempia ovat vesi-  
olot. Karuilla soilla ja heikoissa vesioloissa  
tämä kehitys ei vielä ole näkyvässä. Aina-  
kin osaksi kyseessä on normaali ojituksen  
jälkeinen puuston kasvun rytmi, joka on  
sitä hitaampi mitä karummasta suosta ja  
mitä heikoimmista kuivatusoloista on kyse.

Taulukosta 2 nähdään sädekasvun kehitys  
ojan kuntoluokittain. Voidaan päätellä,  
että myös ojan kunnan heikkeneminen on  
heikentänyt sädekasvua voimakkaasti. Tu-  
los on siinä määrin mielenkiintoinen, että  
sitä on aiheellista tarkastella myös kuvan  
(16) valossa. Kuvaan on piirretty näkyviin  
myös ojan syvyyden mukainen kehitys.  
Molemmista tapauksissa on aineisto jaettu  
vain kahteen luokkaan. Kuvasta voimme  
päättellä, että ojan kunnan ja syvyyden vai-  
kutukset sädekasvun kehitykseen on varsin  
samankaltainen, tämä on tietysti ymmärret-  
tävässä, sillä ojan kunto ja syvyys korreloi-  
vat erittäin kiinteästi keskenään, varsinkin  
U-aineistossa.

Taulukon 2 ja kuvan 16 perusteella voi-  
daan todeta seuraavaa. Kuivatuksen tilan  
ollessa hyvä eli siis kun ojan kunto on hyvä  
ja ojan syvyys riittävä, sädekasvun lisään-  
tyminen jatkuu vielä 15–20 v ojituksen  
jälkeen. Tätä kehitystä voidaan pitää  
normaalina (vrt. SEPPÄLÄ 1969). Jos sen  
sijaan kuivatuksen tila on huono eli ojan  
kunto on heikentynyt ja ojat ovat mataloi-  
tuneet, sädekasvun kehitys kääntyy jo tässä  
vaiheessa pieneneväksi. Ojan reunan osakoe-  
aloilla tämä kehitys on selvä, keskisaralla  
koealoilla se on hitaampi, joskin saman-  
suuntainen.

Esitetyn tuloksen kvantitatiiviseen tar-  
kentamiseen tämä tutkimus ei anna riittä-  
västi mahdollisuuksia. Ojan syvyydessä  
keskiarvo, jonka mukaan + ja - tapaukset  
kuvassa 16 määrytyivät, on 62.96 cm ja  
ojan kunnan arvo vastaavasti 4.13. Itse  
asiassa nämä luvut merkitsevät verrattain  
huonokuntoista ja matalaa ojaa. Toisaalta  
on edellä jo monessa yhteydessä käynyt  
ilmi, että mainittuja arvoja paremmat ojat  
merkitsevät parempaa kasvua. Olisi siis  
ilmeisesti väärin pitää edellä mainittuja



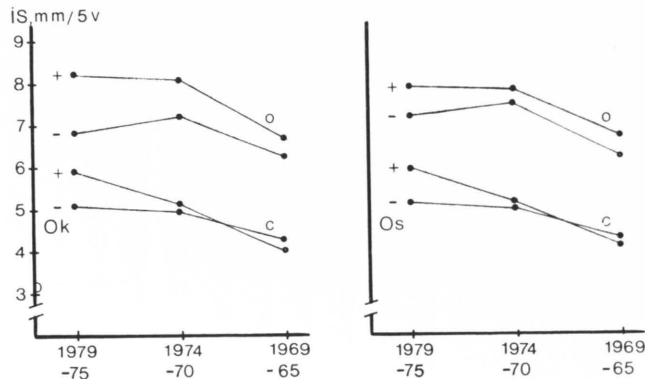
Kuva 15. Sädekasvun kehitys ojan reunan ja keskisaralla koealoilla vilja-  
vuuden ja pohjavesisyvyyden muuttuessa.

Fig. 15. Development of the radial growth on the ditch-side and centre sample  
plots with varying fertility and groundwater depth.

Taulukko 2. Sädekasvun kehitys saran eri osissa ja sen riippuvuus ojan kunnosta (mm/5 v).

Table 2. Development of radial growth on the different parts of the strip and its dependence on ditch condi-  
tion (mm/5 years).

Ojan kunto Ditch condition	1979–75	1974–70	1969–65
ojan reunan koealoilla — on ditch-side sample plots			
– 4.2	8.22 ± 0.57	8.11 ± 0.80	6.69 ± 0.66
4.3–	6.84 ± 0.32	7.20 ± 0.54	6.17 ± 0.48
keskisaran koealoilla — on centre sample plots			
– 4.2	6.10 ± 0.85	5.10 ± 0.98	3.88 ± 0.54
4.3–	4.84 ± 0.39	5.00 ± 0.56	4.51 ± 0.59



Kuva 16. Ojan kunnon ja syvyyden vaikutus sädekasvun kehitykseen saran eri osissa. Ok+ = Ok ≤ 4.2, Ok- = Ok ≥ 4.3, Os+ = Os ≥ 63 cm, Os- = Os ≤ 62 cm.

Fig. 16. Effect of ditch condition and ditch depth on the development of radial growth in the various parts of the strip. Ok+ = Ok ≤ 4.2, Ok- = Ok ≥ 4.3, Os+ = Os ≥ 63 cm, Os- = Os ≤ 62 cm.

arvoja ojan syvyys- ja kuntorormeiksi sopivina. Todennäköisesti sellaisten tulisi olla huomattavasti mainittujen yläpuolella. Toisaalta on lohdullista tietää, että kasvussa on tapahtunut tarkasteltavana jaksona taantumista vasta sitten kun ojan syvyys ja kunto on keskimäärin laskenut yllä mainittujen arvojen alapuolelle.

#### 45. Pohjavesipinnan syvyyden selittäminen

Edellä on todettu, että kuutiomäärän, kuutiokasvun ja sädekasvun selittäjinä pohjavesipinnan syvyys on ollut paras. Eräissä tapauksissa tosin kuivatustekniset muuttujat olivat pohjavesipinnan syvyyttäkin parempia selittäjiä, mutta tällöinkin pohjavesipinnan syvyys osoittautui lähes samanarvoiseksi. Tutkimusongelman kannalta näyttäisi edelläolevan perusteella aiheelliselta seuraavaksi tutkia mitkä muuttujat selittävät pohjavesipinnan syvyyttä ja millä tavalla.

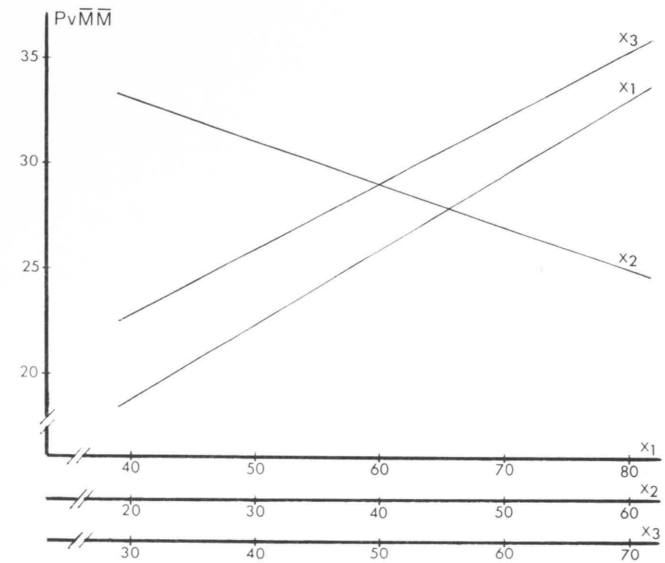
A-aineiston korrelaatiomatriisista nähdään, että ojan syvyys (Oso), alaojan kunto (Okal) sekä ojan vedenjohtokykyä osoittava tunnus (Vovo) korreloivat pohjavesipinnan syvyyden (PvMM) kanssa parhaiten. Ker-

toimet ovat mainitussa järjestyksessä seuraavat: .504, .422 ja .645. Jos olisi käytetty jotakin muuta pohjavesipinnan syvyyden tunnusta olisivat kertoimet eräissä tapauksissa olleet suurempia, mutta yleisesti ottaen tässä käytetty tunnus PvMM antaa suurimmat korrelaatiokertoimien arvot.

A-aineiston perusteella lasketut tärkeimmät regressiot nähdään kuvassa 17. Ojan syvyyden lisääntyminen 10 cm:llä lisää pohjavesisyvyyttä n. 3.6 cm ja ojan kuntoaluokan laskeminen yhdestä (20) kolmeen (60) pienentää pohjavesisyvyyttä n. 8 cm. Tässä käytetään selittäjänä alaojan kuntoa, molempien ojen kunto (Oko) selitti jonkin verran huonommin pohjavesisyvyyttä ja yläoan kaikkein heikoimmin, korrelaatiokertoimet olivat seuraavat: alaoja (-.389), a + b eli o (-.351) ja yläoja (-.111).

Ojan kuivatustehoa osoittava selittäjä Vov on sitä suurempi mitä syvemmällä pohjavesi on. Tulos lienee selitettävä seuraavasti: kuta suurempi tämä suure on sitä pitempään kuivatuksen edistyessä oja toimii. Vov korreloi varsin kiinteästi myös ojan syvyyden kanssa (.483).

B-aineisto tarjoaa pohjavesipinnan syvyyden selittämiseen sikäli hyvät mahdollisuudet, että tarkastelu voidaan suorittaa



Kuva 17. Pohjavesisyvyys (PvMM = y) ojan syvyyden (Os = x<sub>1</sub>), ojan kunnon (Ok<sub>al</sub> = x<sub>2</sub>) ja Vov-vakion (Vovo = x<sub>3</sub>) funktiona.

$$y_1 = 4.510 + 0.359x_1; R^2 = 0.254, r = 0.504$$

$$y_2 = 37.391 - 0.208x_2; R^2 = 0.178, r = 0.422$$

$$y_3 = 12.042 + 0.361x_3; R^2 = 0.393, r = 0.632$$

Fig. 17. Groundwater depth (PvMM = y) as the function of ditch depth (Os = x<sub>1</sub>), ditch condition (Ok<sub>al</sub> = x<sub>2</sub>) and Vov-constant (Vovo = x<sub>3</sub>).

erikseen kummallakin saran puoliskolla ja erikseen koko sarkaa koskevana.

Sekä ylä- että alaojan tarkastelussa pohjavesisyvyyttä selittivät parhaiten ojan syvyys, ojan kunto ja Vov-tekijän vakio. Merkittävimmät korrelaatiokertoimet nähdään seuraavasta asetelmasta:

$$\text{yläoja: } Pv_{\max}/Os (.560), /Ok (-.336), /Vov (.571)$$

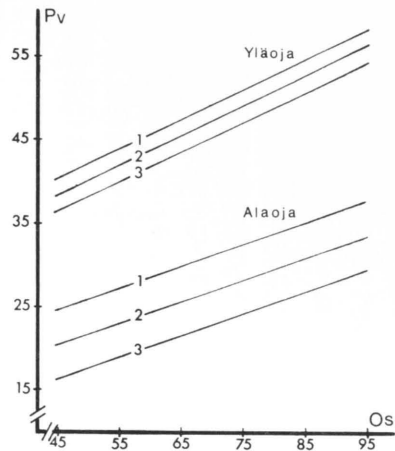
$$\text{alaoja: } Pv_{\min}/Os (.428), /Ok (-.448), /Vov (.523)$$

Yläoan ja alaojan vaikutus näyttää olevan monella tavalla erilainen, niinpä yllä olevasta asetelmasta voidaan todeta, että ojan syvyys on ilmeisesti parempi selittäjä yläoan tapauksessa ja ojan kunto alaojan tapauksessa. Asiaa tutkitaan seuraavassa yksiyiskohtaisemmin siten, että pohjavesisuureille lasketaan regressiot, joissa selittäjinä ovat sekä ojan syvyys että ojan kunto (kuva 18).

Kuvasta 18 voimme todeta, että yläoan tapauksessa ojan syvyys vaikuttaa voimakkaammin pohjavesisyvyyteen kuin alaojan tapauksessa. Yläoan tapauksessa y = Pv<sub>max</sub>, alaojan tapauksessa y = Pv<sub>min</sub>. Ojan kunto puolestaan vaikuttaa alaojan tapauksessa enemmän kuin yläoan tapauksessa.

Kysymystä tutkittiin vielä yhdistetyllä regressio- ja kovarianssianalyysillä selvittämällä erikseen yläoan ja alaojan syvyyden ja kunnan pohjavesisyvyyteen vaikutuksen tilastollista merkittävyyttä. Selvitys tehtiin erikseen kaikilla pohjavesitunnuksilla. Testauksen tulokset nähdään taulukossa 3.

Tulos osoittaa selvästi, että yläoan ja alaojan vaikutus on erilainen, yläoassa on ojan syvyys ratkaisevaa, alaojassa puolestaan ojan kunto. Merkillepantavaa lienee myös se, että tulos on selkein pohjavesisyvy-



Kuva 18. Yläojan ja alaojan syvyyden ja kunnan vaikutus pohjavesisyvyyteen. Ojan kunnan luokat 1 = 20, 2 = 40 ja 3 = 60. Yläoja P<sub>vmax</sub>, alaoja P<sub>vmin</sub>.

Fig. 18. Effect of the depth and condition of the upper ditch on the groundwater depth. Ditch condition classes 1 = 20, 2 = 40 and 3 = 60. Upper ditch P<sub>vmax</sub>, lower ditch P<sub>vmin</sub>.

den minimiarvoilla ja maksimiarvoilla ehkä heikoin.

Tuntuisi luonnolliselta, että Os ja Ok ovat varsin kiinteässä korrelaatioissa keskenään. Ojan kuntoluokkien keskimääräiset ojasyvyydet ovat seuraavat:

Taulukko 3. Yläojan ja alaojan syvyyden ja kunnan vaikutus pohjavesisyvyyteen. t = regressioanalyysin testausarvo, F = kovarianssianalyysin testausarvo.

Table 3. Influence of the depth and condition of the upper and lower ditch on the groundwater depth. t = test value for regression analysis, F = test value for covariance analysis.

Yläoja — Upper ditch	P <sub>vmin</sub>		P <sub>vM</sub>		P <sub>vmax</sub>	
	t	F	t	F	t	F
Os	3.481*	—	2.788*	—	3.038*	—
Ok	—	.540	—	.394	—	.265
Alaojan — Lower ditch	P <sub>vmin</sub>		P <sub>vM</sub>		P <sub>vmax</sub>	
	t	F	t	F	t	F
Os	1.276	—	1.126	—	1.871	—
Ok	—	3.500*	—	2.814*	—	1.719

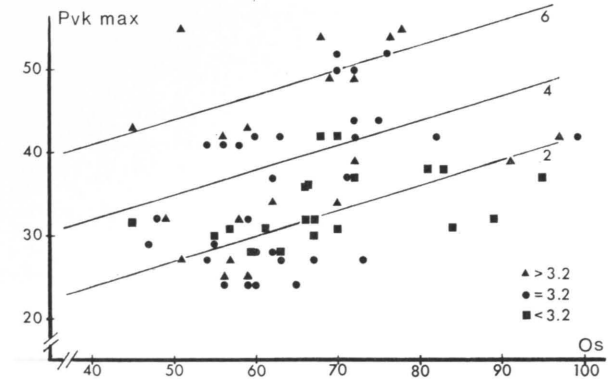
Ok	1	2	3	4	5
Os, cm	82.2	70.6	67.4	63.8	57.4
Lukum.	7	11	18	21	15

Korrelaatio on siis varsin selvä, mutta ei kuitenkaan niin kiinteä, kuin saattaisi olettaa (korrelaatiokertoimet: yläoja  $-0.435$ , alaoja  $-0.692$ ). Osaltaan muuttujan laatu (luokiteltu) lienee syynä tähän. Asia on nähtävä niin, että hyväkuntoiseksi arvioitu oja saattaa olla suhteellisen matalakin ja päinvastoin. U-aineistossa ojan syvyyden ja kunnan välinen korrelaatio on kiinteämpi, korrelaatiokerroin koko aineistossa on  $-0.781$  (vrt. myös kuvat 5 ja 6).

Koko aineiston yhteisessä käsittelyssä saivat pohjavesisyvyyden selittäjinä odotetusti ojan syvyys, ojan kunto ja Vov-selittäjä suurimmat korrelaatiokertoimet. Merkilläpantavaa kuitenkin on, että myös boniteetti osoittautui merkittäväksi selittäjäksi. Yllättävää on, että sarkaleveyden molemmat tunnuksat (Se ja Sg) jäivät kovin pieniin korrelaatiokertoimen arvoihin. Merkittävimmät korrelaatiokertoimet nähdään seuraavasta asetelmasta:

P<sub>v</sub>kmax/Os (.347), /bo (.334), /Ok ( $-0.308$ ), /Vov (.440)  
P<sub>v</sub>max/Os (.484), /Sg (.301), /Ok ( $-0.334$ ), /Vov (.539)

Kuvasta 19 nähdään ojan syvyyden vaikutus pohjavesisyvyyteen boniteettiluokittain. Kymmenen senttimetrin lisäys ojan syvyydessä lisää pohjavesisyvyyttä n. 3 cm. Esim. 50 cm syvyyden ojan kyseessä ollen keskinkertaisen viljavilla soilla (bo 4) saran



Kuva 19. Pohjavesisyvyys (P<sub>v</sub>kmax = y) ojan syvyyden (Os = x<sub>1</sub>) ja boniteetin (bo = x<sub>2</sub>) mukaan.

$$y = 3.189 + 0.301x_1 + 4.321x_2; R^2 = 0.275, r = 0.524.$$

Fig. 19. Groundwater depth (P<sub>v</sub>kmax = y) according to ditch depth (Os = x<sub>1</sub>) and site quality index (bo = x<sub>2</sub>).

keskikohdan maksimivesisyvyys on n. 35 cm, mutta kun ojasyvyys kasvaa 90 cm:iin on vesisyvyys n. 45 cm. Boniteetin vaikutus on n. 4 cm yhtä boniteettiastetta kohti. Tulos on luonnollisesti samankaltainen kuin A-käsittelyssä saatu (vrt. kuva 17).

Ojan kuivatustehoa kuvaavan Vov-tunnuksen korrelaatiokerroin oli varsin korkea, P<sub>v</sub>M/Vov (.525). Kuvasta 20 nähdään Vov-tunnuksen vaikutus pohjavesisyvyyteen. Lisäksi regressioon on laskettu myös ojan kunnan vaikutus.

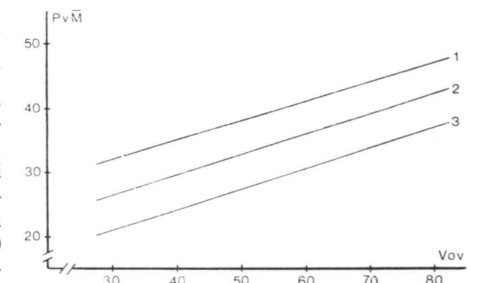
Kuvan 20 tulos on yhtäpitävä kuvan 17 esittämän kanssa. Kuvasta nähdään lisäksi, että ojan kunnan vaikutus pohjavesisyvyyteen on n. 5 cm kuntoluokkaa (1–3) kohden. Kun muistetaan, että Vov-tekijä korreloi vahvasti monien ojitusteknisten muuttujien ennen kaikkea kuitenkin ojan syvyyden kanssa, voimme todeta, että kuvan 20 esittämä tulos korostaa ojasyvyyden merkitystä pohjavesisyvyyden selittäjänä.

Kuten aineistojen esittelyssä todettiin, ei U-aineiston ojasyvyys enempää kuin ojan kuntokaan poikenneet oleellisesti vanhemmasta aineistosta (vrt. kuva 5 ja 6). Kun lisäksi U-aineiston pohjavesisyvyys on sama kuin aikaisemmassa aineistossa, ei ole odotettavissaakaan että U-aineisto toisi jotakin uutta pohjavesipinnan syvyyden selittämi-

sessä. Tulokset ovatkin hyvin samankaltaiset kuin B-aineistosta saadut.

Parhaiten pohjavesisyvyyttä molempien ojan aineiston käsittelyssä selittivät ojan kunto ja ojan syvyys, ensiksi mainittu selvästi parhaiten, kuten korrelaatiokertoimet osoittavat:

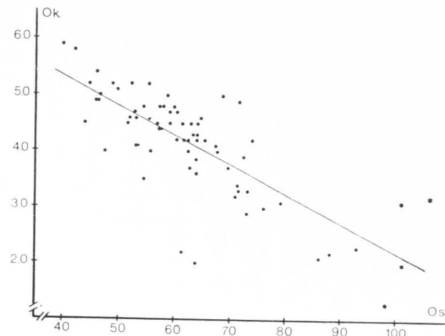
P<sub>v</sub>M/Ok ( $-0.488$ ), /Os (.324)



Kuva 20. Pohjavesisyvyys (P<sub>v</sub>M = y) Vov-tekijän (x<sub>1</sub>) funktiona ojan kunnan luokittain (Ok = x<sub>2</sub>) esitettynä.

$$y = 22.668 + 0.306x_1 - 2.628x_2; R^2 = 0.335, r = 0.579.$$

Fig. 20. Groundwater depth (P<sub>v</sub>M = y) as the function of the Vov-factor (x<sub>1</sub>), given by ditch condition classes (Ok = x<sub>2</sub>).



Kuva 21. Ojan kunnon ja syvyyden regressio uudessa aineistossa.  $y(\text{Ok}) = 7.39 - 0.052x(\text{Os})$ .

Fig. 21. Regression of ditch condition and ditch depth in the new material.

Tulos poikkeaa jossakin määrin vanhan aineiston antamasta sikäli että ojan kunto olisi nyt jopa «tärkeämpi» pohjavesisyvyyden selittäjä kuin ojan syvyys. Toisaalta on todettava, että ojan syvyyden ja ojan kunnon välinen korrelaatio on uudessa aineistossa paljon selvempi kuin vanhassa aineistossa, kuten nähdään kuvasta 21. Korrelaatiokertoimet ovat nyt myös paljon suurempia (yläoja  $-0.795$ , alaoja  $-0.775$ ). Uuden aineiston ojan kunto ja ojan syvyys ovat lähellä toisiaan ja aikaisemmin on todettu, että ojan kunto on subjektiivisen arvioinnin tulosta, ojan syvyys sen sijaan tarkoin mitattavissa.

Yläojan ja alaojan jo edellä todetut erot vahvistuvat tarkastelemalla U-aineiston Osa- ja Pv-keskiarvoja, jotka nähdään seuraavassa asetelmassa:

	Pv	Os
Yläoja	29.7 cm	58.6 cm
Alaoja	30.1 »	67.4 »

Sarkaleveys luokassa (Sg)	< 40 m		40–50 m		> 50 m	
Vka, m <sup>3</sup> /ha	53.5 ± 8.6		53.9 ± 7.3		52.0 ± 5.6	
I5ka, m <sup>3</sup> /ha/v	2.22 ± 0.37		2.61 ± 0.31		2.62 ± 0.37	
Vo-c, m <sup>3</sup> /ha	12.9 ± 3.9		13.8 ± 2.7		16.0 ± 2.6	
I5o-c, m <sup>3</sup> /ha/v	1.02 ± 0.21		1.03 ± 0.20		1.20 ± 0.18	

Asetelman lukujen mukaan lähes sama pohjavesisyvyys on saavutettu yläojan reuna-koelalla lähes 10 cm pienemmällä ojasyvyydellä kuin alaojan.

#### 46. Sarkaleveyden ongelma

Sekä geometrinen sarkaleveys (Sg) että efektiivinen sarkaleveys (Se) ovat selittäneet puustotunnuksia varsin heikosti. Vain ojan reunan ja keskisaran erot saivat huomion arvoiset korrelaatiokertoimet, kuten seuraava A-aineiston korrelaatiomatriisi osoittaa:

$$\text{Sg/Vo-c } (.317), \text{ /I10o-c } (.235)$$

$$\text{Se/Vo-c } (.328), \text{ /I10o-c } (.374)$$

Sarkaleveyden huono selityskyky on siinä määrin outo ja yleisesti totena pidettyjen käsitysten ja myös usein esitettyjen tutkimustulosten vastainen, että kysymystä on syytä tarkastella lähemmin. Sarkaleveyden vaikutusta pienentää varmasti ojamaahukka, joten asiaa on syytä tarkastella U-aineiston perusteella, josta ojamaahukka on eliminoitu. Ryhmittelemällä koela-aineisto sarkaleveyden mukaan kolmeen ryhmään, <40 m, 40–50 m ja >50 m saamme aineiston jakaantumaa myös viljavuuden suhteen varsin homogeenisiin ryhmiin, kuten seuraavasta asetelmasta nähdään:

Sarkaleveysluokka	<40 m	40–50 m	>50 m
keskiarvo	35 m	45 m	59 m
Boniteetti	3.0	3.1	3.0
Koelajoja kpl	9	14	12

Näin muodostetussa sarjassa ovat eräiden puustotunnusten keskiarvot U-aineiston mukaan seuraavia:

Asetelman luvut eivät tuo esille mitään lainalaisuuteen viittaavaa. Ei myöskään efektiivisen sarkaleveyden lähempi tutkiminen tuonut esille mitään edellä esitetystä poikkeavaa. Loppujen lopuksi luvun alussa esitetyt A-aineiston korkeahkot korrelaatiokertoimetkin saran eri osien kuutiomäärien ja kuutiokasvujen kohdalla näyttävät olevan ojamaahukan aiheuttamia. Ojamaahukan aiheuttama vähennys on tietysti osaksi myös sarkaleveyden funktio.

Sarkaleveyttä koskeva tulos saattaa olla myös tähän tarkoitukseen huonosti sopivan koela-aineiston syytä, esim. valtaosa koelajoista (29) sattuu sarkaleveyksien 35–60 m väliin. Sitäpaitsi saattaisi olettaa, että sarkaleveyden valinnassa olisi noudatettu «oikeita» periaatteita, jolloin sarkaleveyden jakaantuma olisi tiettyyn suuntaan vinoutunut. Esim. sarkaleveyden ja boniteetin välinen korrelaatiokerroin ( $-0.236$ ) ei kuitenkaan viittaa kovin määrätietoiseen sarkaleveyden harkintaan.

#### 47. Ojien rappeutumisen syyt

Ojien kaivaussyvyydestä ei ole tässä tutkimuksessa tietoja. Voidaan kuitenkin todeta, että tutkimuksen kohteena olevat suot ovat aurasuhteina olleet suurin piirtein samankaltaisia, vähäpuisia ja paksuturpeisia, joten on syytä uskoa, että aurojen tekemät ojat ovat lähes saman syvyisiä. Tällaiseen päättelyyn antavat aiheita eräät aurasuhteiden syvyyttä koskevat selvitykset (esim. TIMONEN 1970). Kovin pitkälle meneviin johtopäätöksiin edellä esitetty olettamus ei kuitenkaan oikeuta, sillä eri tapauksissa on esim. saatettu käyttää toisistaan poikkeavia auralalleja.

Ojien syvyys on välittömästi aurauksen jälkeen tapahtuneen madaltumisen jälkeen ollut yleensä n. 80 cm (vrt. TIMONEN 1970). Nyt syvyys oli keskimäärin 66 cm, uuden aineiston mukaan 63 cm. Kirjoittajan aikaisemmin tekemän tutkimuksen mukaan ojien mataloitumisen olisi pitänyt olla huomattavasti suurempaa eli peräti 34 cm (vrt. HEIKURAINEN 1957 s. 16). Lienee aiheellista päätellä, että tutkimuksen ojien alkuperäinen syvyys on ollut suurempi kuin edellä mainittu 80 cm, mutta toisaalta ojien mataloituminen on ollut pienempää kuin yllä mainittu 34 cm. Jonkinlaisena arviona saat-

taisi alkuperäiseksi ojasyvyyden keskiarvoksi sanoa n. 85 cm, ja mataloitumisen keskiarvoksi tulisi tällöin n. 20 cm. Tämä on jonkin verran liian pieni arvio ja sen selittämiseksi lienee pakko todeta, että loppujen lopuksi tutkittuja oja on perattu jonkin verran enemmän kuin kenttätöissä voitiin päätellä (vrt. s. 6). Tämäkin havainto tekee ojien madaltumisen ja rappeutumisen tutkimisen entistä epävarmimmaksi.

Edellä esitetyt aineiston heikkoudet mielessä pitäen tarkastellaan seuraavassa ojien rappeutumisen mahdollisia syitä tutkimuksen antamien viitteiden valossa. Seuraavaan asetelmassa on kerätty korrelaatiomatriiseista kaikki korrelaatiot, jotka saattaisivat asiaa valaista.

B-aineisto, alaoja  
 Osk/K (.206), /P (.196), /Pk (.316)  
 Osk/K (.372), /K (.359), /Pk (.351), /P (.448)  
 Ok/bo ( $-0.228$ ), /K ( $-0.260$ ), /Km ( $-0.198$ ), /Pk ( $-0.298$ ), /Sg (.327), /Se (.349)

B-aineisto, yläoja  
 Osk/bo ( $-0.296$ ), /Km (.231)  
 Osk/P ( $-0.262$ )

U-aineisto, alaoja  
 Osk/K (.312), /K (.251)  
 Ok/K ( $-0.209$ )

Kovin suuria eivät korrelaatiokertoimet ole. Tämä selittyy toisaalta ojien kaivaussyvyyden hajonnasta ja toisaalta ilmeisistä perkauksista johtuvaksi, kuten edellä oli puhe. Korrelaatiokertoimet viittaavat kuitenkin siihen että kaltevuussuhteet ovat ojan mataloitumista parhaiten selittäviä tekijöitä. Sekä maanpinnan kaltevuus (Km) että ojan kaltevuus (K) esiintyvät todennäköisinä ojan mataloitumisen selittäjinä samoin saran kaltevuus (P ja Pk). Kuten paremmat kaltevuussuhteet sitä syvempänä ojat ovat säilyneet. Myös viljavuus saattaa selittää ojan mataloitumista, ja siten että viljavammalla suolla se on suurempaa kuin karulla suolla.

Ojan kunnon selittäjät ovat luonnollisesti samoja kuin ojan syvyydenkin. Erikoispiirteensä voisi todeta sarkaleveyden vaikutuksen. Kuten suurempi on sarkaleveys sitä huonompi on ojan kunto. Sellaisenaan mielenkiintoinen toteamus jää kuitenkin kaipeamaan lähempää tulkintaa.



## 5. TULOSTEN YHDISTELMÄ

Sekä kuutiomäärä että kuutiokasvu samoin kuin sädekasvukin osoittautuivat ennen kaikkea pohjavesipinnan säätelemiksi tunnuksiksi. Kuta syvemmällä on pohjavesi sitä suurempi on kuutiomäärä ja sitä suurempi on kasvu.

Pohjavesipinnan syvyyttä säätelee tulosten mukaan ennen kaikkea ojan syvyys ja ojan kunto. Erityisesti yläojan syvyys on tässä suhteessa tärkeä. Alaojan tapauksissa näytti puolestaan ojan kunto olevan ratkaisevampaa. Ojien kunto osoittautui vaikeasti mitattavaksi suureeksi, joka itse asiassa on pitkälle sama asia kuin ojien syvyys. Ojien kaltevuus, ojien asettelun suhteessa kaltevuussuhteisiin jopa sarkaleveyskin osoit-

tautuivat sekundaarisiksi kuivatusteknisiksi tekijöiksi ojan syvyyteen verrattuna.

Ojien rappeutuminen eli pieni ojasyvyys ja ojien huono kunto näkyivät selvästi kuutiokasvun pienenemisenä ja erityisen selvästi sädekasvun pienenemisenä jo vajaan 20 vuoden kuluttua ojituksesta. Riittäväällä ojasyvyydellä ja ojien ollessa kohtalaisessa kunnossa kasvu jatkui lisääntyvänä.

Vaikka aineistolla ei alun perin ole pyritty selvittämään ojien rappeutumisen syytä, on tulosten perusteella syytä pitää todennäköisenä, että sekä suon että ojien kaltevuuden puute olisi tärkein rappeutumista aiheuttava tekijä.

Tutkimus koski vajaan 20 vuoden ikäisiä ojitusalueita. Koealat edustavat paksuturpeisia ja valtaosaltaan karuja rämeitä. Lähes kaikki ojat olivat auraamalla tehtyjä. Ojia ei aurauksen jälkeen oltu sanottavasti perattu.

Kuutiomäärä ja kasvu ovat tietysti toisistaan riippuvia suureita. Tässä tutkimuksessa kasvu näyttää olevan primäärinen suure ja kuutiomäärä on pitkälle kasvun seuraus. Tämä on ymmärrettävää koska aineisto koostuu luontaisesti vähäpuisista suotyypeistä.

Oman mielenkiintoisen yksityiskohtansa muodostavat saran keskiosan ja ojan reunan puustojen toisiinsa vertaaminen. Yleensä nämä osakoealojen puustot «käyttäytyvät» hyvin pitkälle samalla tavalla. Keskisaran puusto jäi kuitenkin aina ojan reunan puuston jälkeen sekä kasvussa että kehityksessä. Saran eri osien kasvueroja selittivät parhaiten viljavuus ja kaltevuussuhteet. Kuta heikompi oli viljavuus ja kuta pienempi kaltevuus sitä suurempia olivat erot. Tämä tulos vahvistaa sitä tosin ennestään tunnettua tosiasiaa, että karulla ja tasaisella suolla vaaditaan tehokasta ojitusta ja päinvastoin.

Ehkä yllättävin tulos tässä tutkimuksessa on se, että pohjavesipinnan syvyys osoittautui selvästi puuston kannalta tärkeimmäksi vesitalouden selittäjäksi, ja edelleen että sitä selitti parhaiten ojan syvyys. Kaikkien muiden ojitusteknistien selittäjien, kaltevuussuhteiden jopa sarkaleveydenkin merkitys osoittautui toissijaiseksi.

Itse asiassa tulos on looginen, kun sitä tarkastellaan maahydrologisten tosiasioiden valossa. Turvemaan kasvukuntoa säätelee pitkälle ritsosfäärin aerobisuus (vert. LÄHDE 1969) tai jos niin halutaan ilmaista maaveden jännitys. Maaveden jännityksen ollessa liian pieni (pF 2.<sup>o</sup>) kasvu kärsii liiasta vedestä eli hapen puutteesta, liian pienestä tuuletuksesta jne. (vert. HEIKURAINEN 1964, PAAVILAINEN 1967). Maaveden jännitys puolestaan on ennen kaikkea pohjavesisyvyyden funktio ja pohjavesisyvyys määryytyy pitkälle gradientista eli tapauksessamme ennen kaikkea ojasyvyydestä. Kaltevuus-

## 6. POHDINTAA

suhteet, ojan kunto jopa sarkaleveyskin ovat tässä mielessä vasta sekundaarisia vaikuttajia.

Oman huomionsa ansaitsee tulos, jonka mukaan pohjavesisyvyyden minimiarvot (pohjavesihavaintojen alakvarttiilit, vrt. kuva 4) selittivät esim. saran eri osien puustotunnusten eroja paremmin kuin keskiarvot ja maksimiarvot. Tähän suuntaan viittaavia tuloksia on esitetty aikaisemmin maabiologisten tutkimusten yhteydessä. (vert. PAAVILAINEN 1967, LÄHDE 1969).

Sarkaleveyden heikko vaikutus puustoon on ehkä hämmästyttävä tulos. Yleensäkin kenttäkokeissa etenkin taimistoissa on saatu tuloksia joiden mukaan puuston kasvu riippuu enemmän tai vähemmän kiinteästi sarkaleveydestä (vrt. esim. HUIKARI 1959 ja 1960, MESHECHOK 1969, PÄIVÄNEN 1974, HEIKURAINEN ja LAINE 1976). Toisaalta varsinkin varttuneemmista puustoista käytännön ojitusalueilta kerätyissä aineistoissa sarkaleveys ei aina ole kovinkaan tiukasti korreloinut puustotunnusten kanssa (vrt. HEIKURAINEN 1959, SEPPÄLÄ 1972). Tässä aineistossa sarkaleveyden ja puuston välisen korreloitumisen heikkous saattaisi osaksi johtua siitä, että sarkaleveys olisi valittu kulloinkin viljavuuden ja muiden kuivatukseen vaikuttavien tekijöiden esim. kaltevuuden mukaan. Näin ei asianlaita kuitenkaan näyttänyt olevan. Olisinkin taipuvainen tulkitsemaan tämän tutkimuksen tulokset siten, että sarkaleveys ei sittenkään ole niin ehdoton kuivatustekninen tunnus, jollaisena sitä usein on totuttu pitämään. Tietyissä rajoissa (35–55 m) pysyttäessä saattavat muut kuivatustekniset tekijät esim. ojan syvyys olla ratkaisevampia kuin sarkaleveys.

Erityisesti näyttää ojien syvyyden ja ojien kunnan lisäksi viljavuus merkitsevän paljon kuivatustulosta ajatellen, tämä näkyi selvästi sekä puustotunnuksissa että pohjavesipinnan syvyydessä. Samoin osoittautui että viljavuuden paraneminen ja kaltevuuden lisääntyminen pienensivät saran eri osien puusteroja kun sen sijaan kuivatustekniset tekijät esim. ojan syvyys, ojan kunto, Votunnukset jne suurensivat niitä.

Pohjimmaltaan tässä saran eri osien eroja koskevissa tuloksissa ilmeisesti on kyse turpeen laadusta. Viljavammilla soilla turpeen vedenläpäisevyys on suurempi kuin karuilla soilla eli ilmeisesti kyse on saraturpeen ja rahkaturpeen eroista (vrt. PÄRVÄNEN 1973). Osaksi myös suon pinnan kaltevuus on mukana selittämässä viljavuuden kuivatusteknistä merkitystä. Voinemme siis edelleen pitää oikeana sitä jo yleisesti hyväksyttyä periaatetta, että viljavalla suolla saa sarkaleveys olla suurempi kuin karulla suolla. Toisin sanoen viljavalla ja kaltevuussuhteitaan «hyvällä» suolla päästään tasaiseen puustoon koko saralla vähemmän kuivatusteknisin ponnisteluin kuin karulla ja tasaisella suolla. Tämä näkemys lähtee kuivatusteknisistä ja biologisista lähtökohdista. Tiukan ekonominen näkemyksen mukaan asiat tosin saavat toisen luonteen (vrt. KELTIKANGAS 1971).

Useissa yhteyksissä esille tulleet yläojan ja alaojan hydrologisista eroista kertovat tulokset ovat sarkaojajärjestelmissä vähemmän merkittäviä, koska jokainen oja on sekä yläoja (alapuolen saralle) että alaoja (yläpuolen saralle). Eräissä tapauksissa esim. yhden ojan suojuoteissa yläpuolisen ojan ylivoimaisuutta on aihetta korostaa.

Kymmenen vuoden ja viiden vuoden kuutiokasvujen vertailussa ja sädekasvun aikasarjassa ilmeni selvästi oijen kunnossapysymisen suuri merkitys puustolle. Vajaat kaksikymmentä vuotta sitten auratut ojat olivat nyt osin rappeutuneet jo siinä määrin että koko saralla puuston kasvu oli selvästi kääntynyt laskuun. Johdanto-osaan viitaten voitaisiin sanoa, että osalla tutkittuja ojitusalueita metsäekosysteemikehitys on kääntymässä suoekosysteemikehitykseksi. Ainakin on todettava, että selvä ja jo itse asiassa suhteellisen voimakas kasvun pieneminen huonokuntoisten ja matalaojaisten koealojen puustoissa on tällaisesta ekologisen tasapainon horjumisesta vakava merkki. Jos ojat olivat riittävän syviä ja hyväkuntoisia, jatkui metsäekosysteemikehitys häiriintymättömänä.

Tässä tutkimuksessa ei ollut mahdollisuuksia määrittää tarkkoja oijen syvyyss- tai kuntonormeja, joita metsäekosysteemien häiriötön kehitys edellyttäisi. Voidaan kuitenkin todeta, että keskimäärin kunto oli 4.<sup>o</sup> (vrt. s. 15) ja keskimääräinen ojasyvyys

63 cm ja edelleen, että kuivatustehonsa säilyttäneessä koealojen ryhmässä oijen kunnan keskiarvo oli 3.2 ja ojasyvyyden 69 cm. Jonkinlaisiksi kunnossa olevan kuivatuksen tunnuksiksi voisi ehkä sopia kuntoluokka 3 (vrt. s. 7) ja ojasyvyys 70 cm. Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, etteikö metsäekosysteemi säilyisi jonkin verran tätä heikommillakin arvoilla.

Toisaalta tämä tutkimus viittaa vahvasti siihen, että mainittuja arvoja tehokkaampi kuivatus lisää vielä puuston kasvua. Optimikuivatukseen pääseminen edellyttäisi ilmeisesti aika tavalla tehokkaampaa ojitusta. Tämän tutkimuksen koealoilla päästiin keskimäärin 30 cm:n kuivatussyvyyteen ja tämänlaatuisilla turvealustoilla optimikuivatus edellyttäisi ilmeisesti n. 40–50 cm:n pohjavesisyvyyttä (HEIKURAINEN 1967, HUIKARI ja PAARLAHTI 1967). Vain parhaissa tapauksissa on tämän tutkimuksen koealoilla päästy tähän optimikuivatukseen.

Uudisojitusta ajatellen lienee merkitystä niillä tutkimuksen tuloksilla jotka viittaavat siihen, että oijen riittävä kaltevuus olisi tärkeää toisaalta puuston viihtymiseen tarpeellisen pohjavesisyvyyden aikaansaamiseksi ja toisaalta oijen kunnan ja syvyyden säilyttämiseksi. Efektiiivisen sarkaleveyden osoittautuminen lähes merkityksettömäksi kuivatusteknisiksi selittäjäksi samoin kuin sarkojen kaltevuussuhteidenkin vähäinen merkitys viittaavat puolestaan siihen, että oijen asettelussa ei ehkä sittenkään ole syytä pyrkiä mahdollisimman pieneen efektiiviseen sarkaleveyteen, jota on viime vuosikymmeninä usein pidetty tärkeänä (vrt. HENMAN 1963). Tärkeämpää näyttää olevan riittävän putouksen saaminen ojaan, jotta sen syvyys ja kunto säilyvät.

Ojitusalueiden kunnostamista ajatellen tutkimus näyttäisi antavan aihetta korostaa mm. seuraavia seikkoja. Tavoitteeksi on asetettava riittävän ojasyvyyden saavuttaminen, pelkkä «puhdistusperkaus» jo matalaksi käyneissä ojissa tuskin on suositeltavaa. Perkauksen jälkeen ojasyvyyden tulisi olla vähintään 70 cm mieluummin tätäkin suurempi.

Sarkojen halkaisemiseen näyttää olevan aihetta suhtautua varauksellisesti. Jos sarkaleveys on 50 m ja kohtalaisen viljavilla tai kaltevilla soilla tämän ylikin, lienee edullisempaa huolehtia oijen syvyydestä kuin

halkaista sarakat kahtia. Tutkimus puoltaa kuitenkin uudelleen ojitusta ja täydennysojitusta tapauksissa, jolloin oijen kunnossapysyminen on huono. Jos tällöin ojiin voi-

daan saada lisää kaltevuutta esim. oijen uudella asettelulla ja siten kunnossapysymisen paranee, voi entisten oijen hylkääminenkin olla paikallaan.

## 7. KIRJALLISUUTTA

- BRECHTEL, HORST, 1972. Forsthydrologische Forschungsprojekte in Hessen. Hessische forstl. Versuchsanst., Hann. Münden, April 1972.
- BUSS, K., 1964. Puuston kasvukyvyn jatkuvuudesta ojitetuilla turvemaidella. Summary: Capacity of trees for continued growth on drained swamps. Suo 1, 1964.
- HEIKURAINEN, LEO, 1957. Metsäojien syvyyden ja pintaleveyden muuttuminen sekä ojien kunnan säilyminen. Summary: Changes in depth and top width of forest ditches and the maintaining of their repair. AFF 65. 5.
- » — 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Referat: Über waldbaulich entwässerte Flächen und ihre Waldbestände in Finnland. AFF 69. 1.
- » — 1964. Ajatuksia turvemaiden vesitaloudesta. Summary: Thoughts on the water economy of peatlands. Suo 4, 1964.
- » — 1967. On the possibilities of optimum drainage in peatlands. XIV IUFRO-Kongress, Section 23, pp. 264–277.
- » — 1971. Pohjavesipinta ja sen mittaaminen ojitetuilla soilla. Summary: Ground water table in drained peat soils and its measurement. AFF 113.
- » — 1978. Suo-opas metsänkasvatusta varten. 3., uudist. painos. Kirjayhtymä, Helsinki.
- » — & JUKKA LAINE, 1976. Lannoituksen kuvituksen ja lämpöolojen vaikutus istutus- ja luonnontaimistojen kehitykseen rämeellä. Summary: Effect of fertilization, drainage, and temperature conditions on the development of planted and natural seedlings on pine swamps. AFF 150.
- » — & JUHANI PÄIVÄNEN, 1970. The effect of thinning, clear-cutting, and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. Suomenk. sel. AFF 104.
- HENMAN, D. W., 1963. Forest drainage. Forestry Commission, Research branch paper No. 26.
- HUIKARI, OLAVI, 1959. Metsäojitetujen turvemaiden vesitaloudesta. Referat: Über den Wasserhaushalt waldentwässerten Torfböden MTJ 51. 2.
- » — 1960. Metsäojitetujen turvemaiden vesitaloudesta erikoisesti sarkaleveyden ja ojavyyden kannalta. Summary: On the hydrology of forest-drained peat lands. MA 6–7, 1960.
- » — & KIMMO PAARLAHTI, 1967. Results of field experiments on the ecology of pine, spruce, and birch. Selostus: Kenttäkoekiden tuloksia männyn, kuusen ja koivun ekologiasta. MTJ 64. 1.
- LVESSALO, YRJÖ, 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvulaskentataulukot. Tapio, Helsinki.
- KELTIKANGAS, MATTI, 1971. Sarkaleveyden vaikutus ojitusinvestoinnin taloudelliseen tulokseen. Summary: Effects of drain spacing on the economic results of forest drainage investments. AFF 123.
- LÄHDE, EKKI, 1969. Biological activity in some natural and drained peat soils with special reference to oxidation-reduction conditions. AFF 94.
- MESHECHOK, BORIS, 1969. Törrlegging av myr ved ulik grøfteavstand og grøftedybde. Summary: Drainage of swamps at different ditch distances and ditch depths. Medd. f Det Norske Skogforsöksvesen, Nr. 98, XXVII, 3. 1969.
- PAAVILAINEN, EERO, 1967. Männyn juuriston suhteesta turpeen ilmatilaan. Summary: Relationships between the root system of Scots pine and the air content of peat. MTJ 63. 6.
- PÄIVÄNEN, JUHANI, 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. Selostus: Turpeen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky. AFF 129.
- » — 1974. Sarkaleveyden ja naveroinnin vaikutus pohjavesipinnan syvyyteen ja männyntaimiston kehitykseen lyhytkortisella nevalalla. Summary: The effect of ditch spacing and furrowing on the depth of the ground water table and on the development of a Scots Pine plantation on small-sedge bog. SF Vol. 8, 1974, n:o 4.
- SEPPÄLÄ, KUSTAA, 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemaidella. Summary: Post-drainage growth rate of Norway Spruce and Scots Pine on peat. AFF 93.
- » — 1972. Ditch spacing as a regulator of post-drainage stand development in spruce and pine swamps. Suomenk. sel. AFF 125.
- TIMONEN, ERKKI, 1970. Auras- ja kaivuriojien koon ja muodon muutoksista. Pro gradu -työ Helsingin yliopiston suomensäätieteen laitos.

## Summary:

### DRAINAGE CONDITION AND TREE STAND ON PEATLANDS DRAINED 20 YEARS AGO

#### Introduction and main features of the investigation

In Finland there are now, in 1980, over 5 million hectares of peatlands drained for forestry. Along with drainage and increased forest growth or afforestation, former peatland ecosystems have turned or are in the process of turning into forest ecosystems. However, such an ecosystem is labile. If the ditches are allowed to decay, the development may be reversed. These problems have been little investigated to date.

The aim of this investigation is to examine the dependence of stand volume and increment on different growth factors, particularly on drainage technical factors, on peatlands drained 20 years ago. Measurements were made in the years 1977, 1978, and 1979 on 35 sample plots in Central Finland (see Fig. 1, p. 5). The measurements include a number of dependent stand factors, stand volume, volume increment, and radial growth. All these factors were measured by the partial sample plots (the ditch-side sample plots and the centre sample plots) as well as by the whole sample plots (see Fig. 2, p. 8). As independent variables, a number of drainage technical factors were measured, such as ditch depth, ditch condition, gradient relationships, and ditch spacing. The groundwater depth was repeatedly measured from the groundwater wells. In addition, the fertility of the sample plots was determined by using the peatland site type classification system. Lists of the dependent and independent variables are attached. Figures 2, 3, 4, 5, and 6 present the layout of the experiments, the methods of determining some variables as well as the relationships between some variables.

The investigation aims at explaining the relations between the stand factors and the independent variables as well as possible differences in the stand factors in the various parts of the strip, primarily by means of correlation calculations, and regression and variance analyses. Efforts were also made to follow and explain the temporal development of growth.

The presentation and examination of the results is primarily based on the so-called determination series, hence the following presentation of the selective regression analysis: the independent variables of a certain dependent variable are presented in the magnitude order of the correlation coefficients given by the correlation matrices. The first group is formed by those independent variables which in the regression analyses have significantly increased the determination (the T-value has been significant at 5 % risk level), the rest of the group is formed by those independent variables, including which has still increased the determination value, i.e. the value of  $R^2$  has increased (see example on page 14).

#### Stand volume and volume increment

In the relatively poor peatland areas examined, which had been drained in 1957–62, the average stand volume was 47 m<sup>3</sup>/ha and the volume increment 2.2 m<sup>3</sup>/ha/year. The variation was about 20–100 m<sup>3</sup>/ha and about 1–5 m<sup>3</sup>/ha/year. The variation was best explained by groundwater depth and by fertility. It can be seen from the regression analyses that a 10 cm deepening in the groundwater depth means an increase in the stand volume of about 15 m<sup>3</sup> and in volume increment about 0.6–0.7 m<sup>3</sup> as calculated per hectare. An improvement of one degree in the site quality index (1–10) indicating the fertility of the site means an increase of about 10 m<sup>3</sup>/ha in the stand volume and about 0.35–0.50 m<sup>3</sup>/ha/year in the increment (cf. Fig. 7 and 11).

The differences in the tree stands between the ditch-side and the centre sample plots are influenced by the area loss caused by the ditch and ditch spoil, which was some 2.5 m on each side of the strip. When deducting the area loss from total area, both the stand volume and the volume increment of the ditch-side sample plot are considerably higher than those of the centre. Fertility, the gradient of the ground surface and similar variables measuring the natural conditions have a decreasing effect on the differences between the

tree stands on the ditch-side and the centre sample plots, i.e. the more favourable the natural conditions the smaller the differences (cf. the determination series pp. 16 and 13 and Fig. 9 and 12). The result also implies that under favourable natural conditions an even tree stand is born on the whole strip with lesser drainage technical efforts than under poorer natural conditions. An even tree stand on the whole strip also means a high increase in increment.

The volume increment was calculated both as five-year and ten-year increment. It turned out that nearly always the five-year increment was higher than the ten-year increment (cf. Fig. 13 and 14). The development of growth was best explained by the groundwater depth and ditch depth (cf. the determination series p. 19). It became evident that under unfavourable drainage conditions growth had now, almost 20 years after drainage, either remained the same or declined while under favourable drainage conditions the improvement of growth was still clear.

#### Radial growth

15–20 borings for determining radial growth were taken from the dominant trees separately from the two ditch-side sample plots and along the centre line of the centre sample plot. Radial growth was measured in three five-year periods. As can be seen from the determination series on p. 22, radial growth is best explained by the site quality index and the groundwater depth. The ditch condition also explained well the last five-year radial growth period, but not at all the first one. As is evident from Fig. 15, growth has declined particularly on the fertile and well drained ditch-side sample plots. The decline in radial growth is not clear on the centre sample plots nor on the less fertile and poorly drained sample plots. On the other hand, radial growth on the latter is generally small and at such a stage of development when growth should be on the increase. Table 2 shows that it is the question of declined radial growth due to deteriorating ditch condition which is clearly seen in the last five-year radial growth, i.e. already 15–20 years after drainage. Signs of this are to be seen already in the middle radial growth period, 10–15 years after drainage. This development is more evident on the ditch-side sample plots than on the centre sample plots, the development of the latter is slower also in this respect (cf. Fig. 16).

#### Explaining the groundwater depth

Groundwater depth turned out to be an important independent variable for all stand factors. From the point of view of the investigation it was therefore important to determine which factors explain the groundwater depth. Fig. 17 shows how the factors best explaining the groundwater depth, such as ditch depth, ditch condition and the factors illustrating the water draining from the ditch, correlate with the groundwater depth.

Fertility also proved to be a significant independent variable in explaining the groundwater depth, while the correlation coefficients for the ditch spacing remained quite small.

The determination capacity of the upper ditch and the lower ditch differed considerably from each other, as can be seen from Fig. 18 and Table 3. The ditch depth of the upper ditch explained well the various factors of the groundwater depth, but the ditch condition poorly, the opposite was found with the lower ditch. The condition of the lower ditch was a significant factor in explaining the groundwater depth, while ditch depth was not.

It is evident from Fig. 19 that an increase of 10 cm in ditch depth will increase the (maximum) groundwater depth of the centre part of the strip by some 3 cm, and the groundwater depth is greater in a fertile peatland, a difference of one degree in the site quality index will mean some 4 cm in the groundwater depth. Fig. 20 shows that for each ditch condition class (1–3) the change in the groundwater depth is ca. 5 cm.

It should be noted that the «efficiency» of the upper ditch proved to be clearly higher than that of the lower ditch. In order to reach the same groundwater depth, a ditch depth nearly 10 cm deeper was required in the lower ditch than in the upper ditch.

#### Practical conclusions

The areas examined had originally been sparsely wooded pine swamps with a thick peat layer which were drained by ploughing method almost 20 years ago. No ditch cleaning worth mentioning had been carried out since the ploughing. The ditches on a considerable part of the sample plots had deteriorated to such an extent that the growth of the stand had begun to decline, in other words, the forest ecosystem born as a consequence of drainage had in its development turned towards a peatland ecosystem. Based on various facts it was decided to recommend 70 cm

as a minimum depth for ditches in a good condition and at least 3 as condition class (scale 1–6). A more intensive drainage than this will still increase growth, but even a somewhat less intensive drainage will perhaps maintain the existence of a forest ecosystem, while a considerably more inefficient drainage (e.g. ditch depth < 63 cm and ditch condition < 4.3) will lead to a declining development, i.e. towards a peatland ecosystem.

The investigation also gave some drainage technical hints. According to the results the

importance of ditch spacing seems to be exaggerated and now it can be seen that the significance of ditch depth should be more emphasized. With regard to ditch maintenance it is essential to create a sufficient ditch gradient. The upper ditch proved to be in several respects hydrologically more important than the lower ditch. In cases of drainage with contour ditches this is, of course, of no consequence, but in the oneditch drainage systems it is of certain importance.

## LIITE 1.

## SELITETTÄVÄT MUUTTUJAT

- V = puuston kuutiomäärä, m<sup>3</sup>/ha kuorineen. Va = a-koealalla\*), Vb = b-koealalla, Vc = c-koealalla, Vo = osakoealoilla a ja b, Vka = koko koealalla, Vo-c = Vo-Vc, Va-c = Va-Vc, Vb-c = Vb-Vc, Vp<sup>o</sup>/c = Vo/Vc x 100, Vp<sup>a</sup>/c = Va/Vc x 100, Vp<sup>b</sup>/c = Vb/Vc x 100.
- I 5 = puuston vuotuinen kuutiokasvu vv 1974-78, m<sup>3</sup>/ha/v, ilman kuorta. 15a, 15b, 15c, 15o, 15ka, 15o-c, 15a-c, 15b-c, 15p<sup>o</sup>/c, 15p<sup>a</sup>/c, 15p<sup>b</sup>/c (katso tunnusta V).
- I 10 = puuston vuotuinen kuutiokasvu vv 1969-78, m<sup>3</sup>/ha/v, ilman kuorta. I10a, I10b, I10c jne. (katso tunnusta I 5).
- P 5 = 5 v:n kasvuprosentti. P5a, P5b, P5c jne. (katso tunnusta I 5).
- P 10 = 10 v:n kasvuprosentti. P10a, P10b, P10c jne. (katso tunnusta I 5).
- I e = I 5 - I 10  
Iea, Ieb, Iec jne. (katso tunnusta I 5).
- IS 5 = sädekasvu 1975-79, mm/5 v. IS5a, IS5b, IS5c jne. (katso tunnusta I 5).
- IS 10 = sädekasvu 1970-74, mm/5 v (katso tunnusta IS 5).
- IS 15 = sädekasvu 1965-69, mm/5 v (katso tunnusta IS 5).

\*) Osakoealojen a ja b tilalla voi olla merkinnät yl ja al, edellinen tarkoittaa yläoajan puoleista ja al alaojan puoleista osakoealaa.

## APPENDIX 1.

## DEPENDENT VARIABLET.

- V = stand volume, m<sup>3</sup>/ha, with bark. Va = on sample plot a\*), Vb = on sample plot b, Vc = on sample plot c, Vo = on partial sample plots a and b, Vka = on the whole sample plot, Vo-c = Vo-Vc, Va-c = Va-Vc, Vb-c = Vb-Vc, Vp<sup>o</sup>/c = Vo/Vc x 100, Vp<sup>a</sup>/c = Va/Vc x 100, Vp<sup>b</sup>/c = Vb/Vc x 100.
- I 5 = annual stand volume increment in the years 1974-78, m<sup>3</sup>/ha/year, without bark. 15a, 15b, 15c, 15o, 15ka, 15o-c, 15a-c, 15b-c, 15p<sup>o</sup>/c, 15p<sup>a</sup>/c, 15p<sup>b</sup>/c (see variable V).
- I 10 = annual stand volume increment in the years 1969-78, m<sup>3</sup>/ha/year, without bark. I10a, I10b, I10c etc. (see variable I 5).
- P 5 = 5-year increment percentage. P5a, P5b, P5c etc. (see variable I 5).
- P 10 = 10-year increment percentage. P10a, P10b, P10c etc. (see variable I 5).
- I e = I 5 - I 10  
Iea, Ieb, Iec etc. (see variable I 5).
- IS 5 = radial growth 1975-79, mm/5 years. IS5a, IS5b, IS5c etc. (see variable I 5).
- IS 10 = radial growth 1970-74, mm/5 years (see variable IS 5).
- IS 15 = radial growth 1965-69, mm/5 years (see variable IS 5).

\*) The partial sample plots a and b may be replaced by the signs yl and al, the former stands for the partial sample plot by the upper ditch, the latter for the partial sample plot by the lower ditch.

## LIITE 2.

## SELITTÄVÄT MUUTTUJAT

- bo = boniteetti, 1-10
- Sg = geometrinen sarkaleveys, m. Ojien välinen lyhin etäisyys.
- Se = efektiivinen sarkaleveys, m. Kaltevuuden suuntainen ojien välinen etäisyys.
- Km = maanpinnan kaltevuus, cm/m.
- Ka = a-ojan\*) pohjan kaltevuus, cm/m.
- Kb = b-ojan pohjan kaltevuus, cm/m.
- Ko = ojien kaltevuuden keskiarvo, cm/m.
- Ps = saran poikkileikkauksen kaltevuus, cm/m.
- Pa = saran a-ojan puoliskon kaltevuus, cm/m.
- Pb = saran b-ojan puoliskon kaltevuus, cm/m.
- Os\*\*) = ojan syvyys, cm.  
Osa = a-ojan, Osb = b-ojan, Oso = molempien ojien keskiarvo.
- Osk = ojan syvyys sen jälkeen kun mahdollinen ojamaavirhe on korjattu, cm.  
Oska, Oskb, Osko (katso tunnusta Os).
- Ok\*\*) = ojan kunto, luokitus (katso teksti). Oka, Okb, Oko (katso tunnusta Os).
- Vov = ojan märkyyttä kuvaava tunnus (katso kuva 3 ja teksti).  
Vova, Vovb, Vovo (katso tunnusta Os).
- Vok = ojan tyhjenemistä kuvaava tunnus (katso kuva 3 ja teksti).  
Voka, Vokb, Voko (katso tunnusta Os).
- Vor = ojan vesipinnan ja pohjavesipinnan vuoro- suhdetta kuvaava tunnus.  
Vora, Vorb, Voro (katso tunnusta Os).
- Pv $\bar{M}$  = koealan kaikkien pv-kaivojen osoittama pohjavesisyvyys, cm.  
Pv $\bar{M}$ min = pohjavesikeston alakvarttiili, Pv $\bar{M}$  = pohjavesikeston keskiarvo, Pv $\bar{M}$ max = pohjavesikestossa kahden suurimman keskiarvo.
- Pvk = koealan keskilinjän pv-kaivojen osoittama pohjavesisyvyys, cm.  
Pvkmin, Pvk $\bar{M}$ , Pvkmax (katso tunnusta Pv $\bar{M}$ ).
- Pva = koealan a-linjan pv-kaivojen osoittama pohjavesisyvyys, cm.  
Pvamin, Pva $\bar{M}$ , Pvamax (katso tunnusta Pv $\bar{M}$ ).
- Pvb = katso edellistä tunnusta.
- Pvo = kahden edellisen tunnuksen keskiarvo.

\*) Ojien tai osakoealojen a ja b tilalla voi olla merkinnät yl (yläoja) ja al (alaoja).

\*\*) U-aineistossa perustuu eri mittaukseen kuin A- ja B-aineistoissa.

## APPENDIX 2.

## INDEPENDENT VARIABLES.

- bo = site quality index, 1-10.
- Sg = geometrical ditch spacing, m. The shortest distance between ditches.
- Se = effective ditch spacing, m. The distance between ditches in the gradient direction.
- Km = gradient of the ground surface, cm/m.
- Ka = gradient of the bottom of ditch a\*), cm/m.
- Kb = gradient of the bottom of ditch b, cm/m.
- Ko = gradient mean value for the ditches, cm/m.
- Ps = gradient of the cross section of the strip, cm/m.
- Pa = gradient of the ditch a half of the strip, cm/m.
- Pb = gradient of the ditch b half of the strip, cm/m.
- Os\*\*) = ditch depth, cm.  
Osa = mean value for ditch a, Osb = for ditch b, Oso = for both ditches.
- Osk = ditch depth after correction by the possible error caused by ditch spoil, cm.  
Oska, Oskb, Osko (see variable Os).
- Ok\*\*) = ditch condition, scale (see text). Oka, Okb, Oko (see variable Os).
- Vov = variable presenting the moisture content of the ditch (see Fig. 3 and text).  
Vova, Vovb, Vovo (see variable Os).
- Vok = variable presenting the water draining from the ditch (see Fig. 3 and text).  
Voka, Vokb, Voko (see variable Os).
- Vor = variable presenting the relation between the water level of the ditch and the ground-water level.  
Vora, Vorb, Voro (see variable Os).
- Pv $\bar{M}$  = groundwater depth shown by all the ground-water wells in the sample area, cm.  
Pv $\bar{M}$ min = the lower quartile of the groundwater duration, Pv $\bar{M}$  = the mean value for the groundwater duration, Pv $\bar{M}$ max = the mean value for the two highest groundwater durations.
- Pvk = groundwater depth shown by the ground-water wells in the centre line of the sample plot, cm.  
Pvkmin, Pvk $\bar{M}$ , Pvkmax (see variable Pv $\bar{M}$ ).
- Pva = groundwater depth shown by the ground-water wells in the line a of the sample plot, cm.  
Pvamin, Pva $\bar{M}$ , Pvamax (see variable Pv $\bar{M}$ ).
- Pvb = see the foregoing variable.
- Pvo = mean value for the two foregoing variables.

\*) The ditches or partial sample plots a and b may be replaced by the signs yl (upper ditch) and al (lower ditch).

\*\*) Based in the material U on a different material than in the materials A and B.

HEIKURAINEN, LEO

ODC 237.2

1980. Kuivatuksen tila ja puusto 20 v vanhoilla ojitusalueilla. Summary: Drainage condition and tree stand on peatlands drained 20 years ago. ACTA FORESTALIA FENNICA 167. 00 p. Helsinki.

The investigation examines the effect of drainage and its present condition on the tree stand on relatively poor pine swamps with a thick peat layer, drained some 20 years ago. It became evident that the stand volume, increment, radial growth and growth development are primarily functions of groundwater depth. Groundwater depth is dependent, in the first place, on ditch depth and ditch condition. With regard to the variation of ditch spacing (ca. 35–70 m) under examination, the effect of ditch spacing on the tree stand was insignificant. As a practical recommendation it was concluded that ditches should be kept deep enough (> 70 cm) in order to maintain undisturbed stand development.

Author's address: Department of Peatland Forestry, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

HEIKURAINEN, LEO

ODC 237.2

1980. Kuivatuksen tila ja puusto 20 v vanhoilla ojitusalueilla. Summary: Drainage condition and tree stand on peatlands drained 20 years ago. ACTA FORESTALIA FENNICA 167. 00 p. Helsinki.

The investigation examines the effect of drainage and its present condition on the tree stand on relatively poor pine swamps with a thick peat layer, drained some 20 years ago. It became evident that the stand volume, increment, radial growth and growth development are primarily functions of groundwater depth. Groundwater depth is dependent, in the first place, on ditch depth and ditch condition. With regard to the variation of ditch spacing (ca. 35–70 m) under examination, the effect of ditch spacing on the tree stand was insignificant. As a practical recommendation it was concluded that ditches should be kept deep enough (> 70 cm) in order to maintain undisturbed stand development.

Author's address: Department of Peatland Forestry, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

HEIKURAINEN, LEO

ODC 237.2

1980. Kuivatuksen tila ja puusto 20 v vanhoilla ojitusalueilla. Summary: Drainage condition and tree stand on peatlands drained 20 years ago. ACTA FORESTALIA FENNICA 167. 00 p. Helsinki.

The investigation examines the effect of drainage and its present condition on the tree stand on relatively poor pine swamps with a thick peat layer, drained some 20 years ago. It became evident that the stand volume, increment, radial growth and growth development are primarily functions of groundwater depth. Groundwater depth is dependent, in the first place, on ditch depth and ditch condition. With regard to the variation of ditch spacing (ca. 35–70 m) under examination, the effect of ditch spacing on the tree stand was insignificant. As a practical recommendation it was concluded that ditches should be kept deep enough (> 70 cm) in order to maintain undisturbed stand development.

Author's address: Department of Peatland Forestry, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

HEIKURAINEN, LEO

ODC 237.2

1980. Kuivatuksen tila ja puusto 20 v vanhoilla ojitusalueilla. Summary: Drainage condition and tree stand on peatlands drained 20 years ago. ACTA FORESTALIA FENNICA 167. 00 p. Helsinki.

The investigation examines the effect of drainage and its present condition on the tree stand on relatively poor pine swamps with a thick peat layer, drained some 20 years ago. It became evident that the stand volume, increment, radial growth and growth development are primarily functions of groundwater depth. Groundwater depth is dependent, in the first place, on ditch depth and ditch condition. With regard to the variation of ditch spacing (ca. 35–70 m) under examination, the effect of ditch spacing on the tree stand was insignificant. As a practical recommendation it was concluded that ditches should be kept deep enough (> 70 cm) in order to maintain undisturbed stand development.

Author's address: Department of Peatland Forestry, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

## ACTA FORESTALIA FENNICA

### EDELLISIÄ NITEITÄ — PREVIOUS VOLUMES

- VOL. 1954, 1977. NILO SÖYRINKI, RISTO SALMELA ja JORMA SUVANTO. Oulangan kansallispuiston metsä- ja suokasvillisuus. Summary: The forest and mire vegetation of the Oulanka national park, Northern Finland.
- VOL. 155, 1977. EERO KUBIN. The effect of clear cutting upon the nutrient status of a spruce forest in Northern Finland (62°28' N). Seloste: Paljaaksihakkuun vaikutus kuusimetsän ravinnetilään Pohjois-Suomessa (64°28' N).
- VOL. 156, 1977. JUKKA SARVAS. Mathematical model for the physiological clock and growth. Seloste: Fysiologisen kellon ja kasvun matemaattinen malli.
- VOL. 157, 1977. HEIKKI JUSLIN. Yksityismetsänomistajien puunmyyntialttiuteen liittyviin asenteisiin vaikuttaminen. Summary: Influencing the timber-sales propensity of private forest owners.
- VOL. 158, 1977. ANNA-MAIJA HALLAKSELA. Kuusen kantojen mikrobilajisto. Summary: Microbial flora isolated from Norway spruce stumps.
- VOL. 159, 1977. ERKKI WUOLIJOKI. Metsätyöntekijän väsyminen. Summary: The fatigue in forest work.
- VOL. 160, 1977. YRJÖ KANGAS. Die Messung der Bestandesbonität. Seloste: Metsikön boniteetin mittaaminen.
- VOL. 161, 1978. ERKKI HALLMAN, PERTTI HARI, PENTTI K. RÄSÄNEN, HEIKKI SMOLANDER. The effect of planting shock on the transpiration, photosynthesis, and height increment of Scots pine seedlings. Seloste: Istutusshokin vaikutus männyntaimien transpiraatioon, fotosynteesiin ja pituuskasvuun.
- VOL. 162, 1978. OLAVI LUUKKANEN. Investigations on factor affecting net photosynthesis in trees: gas exchange in clones of *Picea abies* (L.) Karst.
- VOL. 163, 1978. AARNE NYSSÖNEN ja KARI MIELIKÄINEN. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment.
- VOL. 164, 1978. T. ERICKSSON, C. NILSSON, G. SKRÄMO. The inter-Nordic project of forest terrain and machines in 1972–1975. Seloste: Yhteispohjoismainen metsäntutkimusprojekti »Maasto-Kone» 1972–1975.
- VOL. 165, 1979. V. J. PALOSUO. MERA-ohjelmat Suomen metsätaloudessa. Svensk resumé: Erfarenheter av det riksomfattande virkesproduktionsprogrammet. Summary: MERA-programme in Finnish forestry.
- VOL. 166, 1980. JUKKA LAINE ja HANNU MANNERKOSKI. Lannoituksen vaikutus männyntaimikoiden kasvuun ja hirvituohihin karuilla ojitetuilla nevoilla. Summary: Effect of fertilization on tree growth and eik damage in young Scots pine stands planted on drained, nutrient poor-open bogs.

KANNATTAJAJÄSENET — UNDERSTÖDANDE MEDLEMMAR

CENTRALSKOGSNÄMNDEN SKOGSKULTUR  
SUOMEN METSÄTEOLLISUUDEN KESKUSLIITTO  
OSUUSKUNTA METSÄLIITTO  
KESKUSOSUUSLIIKE HANKKIJA  
SUNILA OSAKEYHTIÖ  
OY WILH. SCHAUMAN AB  
OY KAUkas AB  
KEMIRA OY  
G. A. SERLACHIUS OY  
KYMI KYMMENE  
KESKUMETSÄLAUTAKUNTA TAPIO  
KOIVUKESKUS  
A. AHLSTRÖM OSAKEYHTIÖ  
TEOLLISUUDEN PUUYHDISTYS  
OY TAMPELLA AB  
JOUTSENO-PULP OSAKEYHTIÖ  
KAJAANI OY  
KEMI OY  
MAATALOUSTUOTTAJAIN KESKUSLIITTO  
VAKUUTUSOSAKEYHTIÖ POHJOLA  
VEITSILUOTO OSAKEYHTIÖ  
OSUUSPANKKIEN KESKUSPANKKI OY  
SUOMEN SAHANOMISTAJAYHDISTYS  
OY HACKMAN AB  
YHTYNEET PAPERITEHTAAT OSAKEYHTIÖ  
RAUMA-REPOLA OY  
OY NOKIA AB, PUUNJALOSTUS  
JAAKKO PÖYRY CONSULTING OY  
KANSALLIS-OSAKE-PANKKI  
SOTKA OY, METSÄOSASTO  
THOMESTO OY  
ASKO-UPO OY  
SAASTAMOINEN YHTYMÄ OY  
OULU OY  
OY KESKUSLABORATORIO  
METSÄNJALOSTUSSÄÄTIÖ  
SUOMEN METSÄNHOITAJALIITTO RY  
OY KYRO AB  
SUOMEN 4H-LIITTO  
SUOMEN PUULEVYTEOLLISUUSLIITTO RY  
OY W. ROSENLEW AB