

HAKKUUN VAIKUTUS OJITETTUJEN SOIDEN  
VESITALOUTEEN

LEO HEIKURAINEN

*SUMMARY:*  
*ON THE INFLUENCE OF CUTTING ON THE WATER ECONOMY*  
*OF DRAINED PEAT LANDS*

HELSINKI 1967

## Alkusanat

Käsillä oleva tutkimus kuuluu niihin turvemaiden vesitaloutta käsitteleviin tutkimuksiin, joita Helsingin yliopiston suometsätieteen laitoksessa on viime vuosien aikana suoritettu. Muutamia alustavia tuloksia on näistä töistä jo esitetty. Myös tämän tutkimuksen esituloksia on tullut julkisuuteen kansainvälisessä metsähydrologien symposiumissa USA:ssa pitämässäni esitelmässä syksyllä 1965. Tämä julkaisu on tarkoitettu lopulliseksi. Toisaalta tutkimusmenetelmät ovat työn kuluessa kehittyneet ja itse tutkimusaiheesta on noussut uusia selvitystä kaipaavia kysymyksiä. Tässä mielessä voidaan nyt julkaistua tutkimustakin pitää alustavana.

Haluan tässä yhteydessä kiittää apulaisiani, erityisesti MML KUSTAA SEPPÄLÄÄ ja MMK JUHANI PÄIVÄSTÄ, jotka ovat kantaneet kenttätöiden rasittavimman taakan. Korkeakosken hoitoalueen metsänhoitajille ja metsätekniikoille pyydän samoin esittää parhaat kiitokseni. Ilman heidän myötämielistä asennettaan kokeiden järjestelyt eivät olisi olleet mahdollisia. Töiden rahoittamisesta saan kiittää yliopiston lisäksi Valtion maatalous-metsätieteellistä toimikuntaa.

*Leo Heikurainen*

## Sisällys

|   | Sivu |
|---|------|
| Aikaisempia tutkimuksia.....                        | 5    |
| Tutkimuksen tarkoitus .....                         | 7    |
| Tutkimusalue, tutkimusmetsät ja koealat .....       | 7    |
| Kokeiden järjestely ja mittaukset .....             | 13   |
| Pääaineiston tulokset .....                         | 14   |
| Vesipinnan syvyys ennen ja jälkeen hakkuun .....    | 14   |
| Hakkuun aiheuttama vesipinnan syvyyden muutos ..... | 18   |
| Maan vesivaraston muutos .....                      | 23   |
| Hakkuun vaikutus maahan tulevaan sadantaan .....    | 25   |
| Avohakkuun vaikutus haihduntaan .....               | 27   |
| Lisäaineiston tulokset .....                        | 30   |
| Tulosten yhdistelmä .....                           | 33   |
| Päätelmiä .....                                     | 34   |
| Kirjallisuutta.....                                 | 36   |
| Summary .....                                       | 39   |

## Aikaisempia tutkimuksia

Metsän vaikutusta vesitalouteen on paljon tutkittu. Puuttumatta alan laajaan oppi- ja käsikirjallisuuteen (esim. SONN 1960, PENMAN 1963, MOLCHANOV 1963 ja CHOW 1964) kosketellaan seuraavassa lyhyesti muutamia metsähydrologisten tutkimusten pääpiirteitä.

Jo vanhimmissa alaa koskevissa kirjoituksissa kiinnitettiin huomiota metsän ja aukean paikan vesitalouden eroihin. Tavallisesti tutkittiin maan vesipitoisuutta tai pohjavesipinnan korkeutta (esim. OTOTSKIJ 1898, 1899 ja 1900, EBERMAYER 1900, HESSELMAN 1917 ja IJJASZ 1939), tai mitattiin valuntaa (esim. ENGLER 1919). Tulokset olivat usein ristiriitaisia syystä, että vertailtavien metsäisten ja metsättömien kasvupaikkojen topografiset, maaperälliset ynnä muut sen kaltaiset erot saattoivat peittää metsän vaikutuksen. Vielä viimeksi kuluneiden vuosikymmenienkin aikana on suoritettu runsaasti vertailevia tutkimuksia maan kosteuspitoisuuksista erilaisissa metsissä (esim. ZAHNER 1955, 1958, BAY ja BOELTER 1963) tai mitattu pohjavesipinnan syvyyttä aukoissa ja erilaisissa metsissä (esim. THURMANN-MOE 1941, LUKKALA 1946, WILDE ym. 1953). Näissä töissä on yleensä todettu, että metsässä maa on kuivempaa ja pohjavesipinta on syvemmällä kuin aukealla ja että tiheän metsän ja harvan metsän ero on saman suuntainen.

Entistä luotettavampiin tuloksiin on viime aikoina päästy tutkimuksissa, joissa maan kosteutta tai pohjavesipinnan syvyyttä on mitattu tarkoitusta varten järjestetyissä kokeissa käyttäen kalibrointiaikaa ja kontrollikoealoja. Mittauksia on siis ensin tehty puustoltaan joltisenkin samanlaisilla koealoilla tai -alueilla riittävän pitkä aika, tämän jälkeen on koealoja käsitelty esim. erilaisilla hakkuilla jättäen kuitenkin osa alueista käsittelemättä ja lopuksi on jatkettu jälleen mittauksia riittävän pitkä aika. Tällaisista tutkimuksista mainittakoon esimerkiksi USA:sta TROUSDELL'in ja HOOVER'in (1955) ja Neuvostoliitosta GRUDINSKAYA'n ja SHPAK'in (1959) tutkimukset.

E erityisen runsaslukuisia ovat ns. valunta-alue tutkimukset, joissa valunnan mittaamisen ohella on monipuolisilla hydrologisilla mittauksilla selvitetty täydellinen alueen vesibilanssi ja joissa koejärjestely kalibrointiaikoinen ja kontrollialueineen on periaatteessa sama kuin edellä kuvattu. Esim. HIBBERT (1965) toteaa analysoidessaan lukuisia USA:ssa tehtyjä valunta-alue tutkimuksia, että metsän hakkaaminen lisää valuntaa ja että metsittyminen jälleen pienentää valuntaa. Useita vuosia jopa vuosikymmeniä kestäneissä valunta-alue tutki-

muksissa mitä erilaisimmissa metsällisissä ja ilmastollisissa oloissa on päädytty varsin samanlaisiin tuloksiin, esim. HOOVER (1944), MEGINNIS (1959) ja DOUGLASS (1966) USA:ssa, VON DELFS ym. (1958) Saksassa, KATSUMI (1956) Japanissa ja PEREIRA ym. (1962) Afrikassa. Myös meillä on valunta-alueutkimuksissa todettu, että alueen metsäisyys pienentää kokonaisvaluntaa (MUSTONEN 1965 a).

Tässä yhteydessä on syytä mainita myös säteilyenergiabilanssin selvittämiseen perustuvat haihduntatutkimukset, joiden perusteella on väitetty, että tietyllä ilmastoalueella evapotranspiraatio on lähes riippumaton kasvillisuudesta (esim. THORNTHWAITE 1948, STONE 1957 ja ZAHNER 1955). Viimeisimmät tämän alan tutkimukset kuitenkin osoittavat, että metsän säteilybilanssi johtaa suurempaan haihduntaan kuin aukean tai esim. ruohoa kasvavan paikan ja että myös erilaisten metsien säteilybilanssit saattavat poiketa paljonkin toisistaan (vrt. MILLER 1959, RAUNER 1965).

Mainittakoon vielä lysimetrikokeet, joissa vesitiiviissä astioissa on kasvatettu erilaista kasvillisuutta, jopa puitakin, ja näin saatu varsin luotettavaa tietoa myös metsän, tosin vain taimiasteella olevan, vaikutuksesta hydrologiaan (esim. SARTZ 1963).

Suomessa ei metsän vaikutusta hydrologiaan ole tutkittu vielä riittävän intensiivisesti. Valunta-alueutkimuksissa, joita ei kuitenkaan ole suunniteltu nimenomaan metsän vaikutuksen selvittämiseksi (vrt. KAITERA 1936), on tosin joltisenkin luotettavasti selvinnyt, että myös meillä metsä pienentää valuntaa etenkin kevään mutta myös syksyn ylivalumia, keskikesällä metsän vaikutus näkyy olevan valuntaa lisäävä, kuten MUSTOSEN (1965 b) tutkimuksista on selvinnyt. Metsän aiheuttamat erot eivät kuitenkaan näytä kovinkaan suurilta. Myös NIINIVAARA (1953) on esittänyt, että meikäläisen havupuuvaltaisen metsän vaikutus ei olisi suurestikaan haihduntaa lisäävä. MULTAMÄKI (1936) pitää kuitenkin mahdollisena, että metsällä saattaa olla ratkaiseva vaikutus pohjavesipinnan alenemiseen ojitetuilla soilla.

Muista meikäläisistä metsähydrologisista tutkimuksista mainittakoon HUIKARIN (1959) ojitettujen soiden pienvalunta-alueilla tekemät tutkimukset, joiden probleema-asettelu on kuitenkin toinen, erilaisen ojituksen, lähinnä erilaisen sarkalevyyden ja ojasyvyyden hydrologisten vaikutusten selvittäminen (vrt. myös HUIKARI ym. 1966). Kun koejäseniä on sekä aukealla että metsäisellä suolla, on tuloksia vertaamalla mahdollisuus päätellä myös metsän vaikutusta, joskaan ei kovin luotettavasti. Eräitä tutkimuksia on vielä tehty metsän vesibilanssin komponenteista kuten haihdunnasta (SIRÉN 1955) ja sateen jakaantumisesta erilaisissa metsiköissä (LUKKALA 1942 ja 1946, SIRÉN emt., SEPPÄNEN 1964 ja PÄIVÄNEN 1966).

Tutkimuksista, jotka koskevat nimenomaan hakkuun vaikutusta turvemaiden vesitalouteen, on mainittava THURMANN-MOE'n (1941) ja LUKKALAN (1946) tutkimukset. Molemmissa näissä töissä todettiin, että avohakkuu nostaa pohjaveden pintaa. Varsinkin LUKKALAN tutkimissa tapauksissa ei koejärjestely ollut

moitteeton jo sen takia, että tutkimus kohdistui ensisijaisesti korpimetsien luontaiseen uudistamiseen. Esimerkiksi kaistaleet oli hakattu vuosia ennen mittaus-ten aloittamista ja ojitus risteili säännöttömästi kaistaleissa ja välimetsiköissä. LUKKALAN esittämät keskimääräiset pohjavesipinnan syvyydet kaistaleissa ja välimetsissä eivät eronneetkaan kovin paljon toisistaan, tosin välimetsissä se oli jonkin verran syvemmällä kuin kaistaleissa. Ero tuskin olisi ollut kuitenkaan edes merkitsevä. THURMANN-MOE'n (emt.) tutkimissa tapauksissa hakkuun aiheuttama pohjaveden pinnan nousu oli huomattavasti suurempi ja koejärjestelynkin puolesta tämä työ on jo moitteettomampi joskin kalibrointiaika tässäkin työssä puuttuu.

### Tutkimuksen tarkoitus

Kuten edellä esitetystä on käynyt ilmi, on hakkuu yleensä suurentanut maan vesivarastoa. Eri puulajeilla ja erilaisissa ilmasto-oloissa vaikutus on kuitenkin erilainen ja myös maan laatu vaikuttaa hakkuun aiheuttamaan maan vesitalouden muutokseen ratkaisevasti. Suomen ilmastollisissa oloissa metsähydrologisia ilmiöitä on selvitetty vasta alustavasti ja yksityiskohtaisemmin vain sateen jakaantumista erilaisissa metsissä. Ojitetuilla turvemaidella on hakkuun vaikutusta vesitalouteen tutkittu vain edellä mainituissa LUKKALAN ja THURMANN-MOE'n tutkimuksissa. Nämäkin tutkimukset ovat olleet alustavia, joten erilaisten metsien hakkuiden vaikutusta ojitettujen turvemaiden vesitalouteen ei vielä sanottavasti tunneta. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on lisätä näitä tietoja ja omalta osaltaan kättuttaa yleensä metsähydrologista tietoutta meidän ilmastoloissamme.

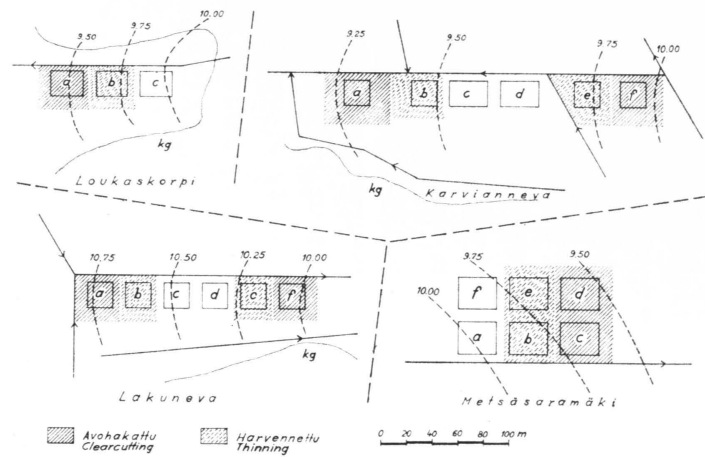
Hakkuun ja yleensä metsän vaikutus ojitettujen turvemaiden vesitalouteen on sekä ojitustekniikan että ojien myöhemmän hoidon kannalta erittäin tärkeää. Esim. ei vielä olla selvillä missä määrin ojien kunnossapitäminen vanhoilla ojitusalueilla on välttämätöntä. On jopa pidetty mahdollisena, että sen jälkeen kun ojitusalueen metsä on elpynyt tai aukean suon kyseessä ollen suo on metsittynyt, ojien kunnossapito ei enää olisi tarpeen. Metsän haihdunta ja puuston sadetta pidättävä vaikutus voivat ehkä pitää vesitalouden kunnossa ilman ojiakin. Tutkimuksesta toivotaan saatavan valaistusta tähän käytännön metsäojituksen tärkeään ongelmaan.

### Tutkimusalue, tutkimusmetsät ja koealat

Kaikki koemetsät sijaitsevat Keski-Suomessa Korkeakosken hoitoalueessa (61° 50'N, 24° 20'E). Alueiden korkeus merenpinnasta on 135—155 m.

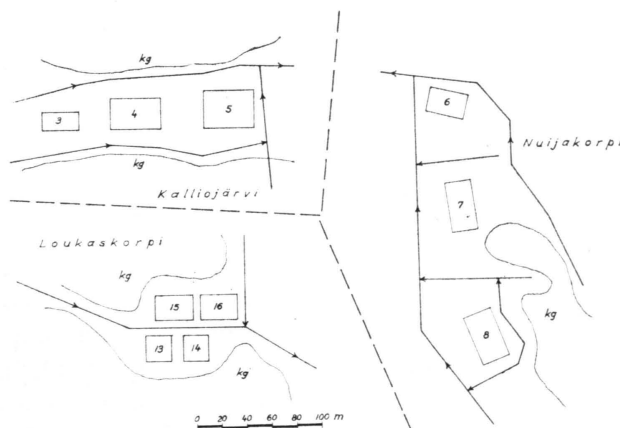
Vuoden keskilämpötila tutkimusalueella on + 3°C, heinäkuun keskilämpötila + 17°C. Vuoden sadanta on n. 600 mm ja kesäkuukausien (touko-syyskuu) sadanta on 300 mm. Haihdunta on n. 300 mm vuodessa (Suomen Kartasto 1960).





Kuva 1. Pääaineiston tutkimusmetsien kartta.

Fig. 1. Location of the experimental stands of the principal material.



Kuva 2. Lisäaineiston tutkimusmetsien kartta

Fig. 2. Location of the experimental stands of the side material.

Tutkimuksen kohteena olleet metsät, joita tässä sanotaan tutkimusmetsiksi, jakaantuvat kahteen pääryhmään, pääaineiston ja lisäaineiston tutkimusmetsiin. Edelliset on perustettu tätä tutkimusta varten ja mittaukset on tehty kalibrointiainekäyttöä ja kontrollikoealoja käyttäen. Jälkimmäisillä, jotka ovat alunperin muuta tarkoitusta, lähinnä metsänhoidollisia kohteita varten perustettuja, on verrattu jo ennen mittausten aloittamista eri tavalla hakattujen koealojen pohjavesipintoja toisiinsa.

Kaikki tutkimusmetsät sijaisivat ojitetuilla soilla. Ojat ovat hyvässä kunnos-

sa ja niiden syvyys on n. 90 cm. Oheisista kuvista selviää tutkimusmetsien koealojen sijainti sekä näiden koealojen asettuminen ojiin nähden.

Pääaineistossa tutkimusmetsien välillä tuskin on suuria kuivatuksen eroja, Metsäsaramäen tutkimusmetsän kuivatus on kuitenkin selvästi heikoin. Vakaavana puutteena on kuitenkin pidettävä sitä, että saman tutkimusmetsän koealojen kuivatuksessa on eroja. Ihanteellista tietysti olisi, jos saman tutkimusmetsän kaikki koealat olisivat kuivatukseltaan mahdollisimman samanlaisia. Tähän on pyritty mm. valitsemalla tutkimusmetsien puitteissa keskenään vertailtavat koealasarjat siten, että tällainen koealasarja olisi mahdollisimman homogeeninen. Niinpä esim. Metsäsaramäen koealat a, b ja c muodostavat tällaisen suhteellisen hyvin kuivuneiden koealojen sarjan ja puolestaan koealat d, e ja f selvästi märempien koealojen sarjan. Myös Karviannevan koealoissa on havaittavissa tällaista ryhmittymistä, suhteellisen märät koealat a, b ja c sekä kohtalaisen hyvin kuivuneet d, e ja f. Lakunevan koealoista ovat a ja f ehkä hieman paremmin kuivatettuja kuin toiset koealat.

Turvesuhteittensa puolesta aineisto on joltisenkin yhtenäinen, etenkin tutkimusmetsien sisäiset erilaisuudet ovat vähäisiä. Sen sijaan tutkimusmetsät poikkeavat tässäkin mielessä jonkin verran toisistaan. Turvesyvyys on kaikissa pääaineiston tutkimusmetsissä yli 2 m paitsi Loukaskorvessa, jossa se on 1.4 m. Turvelajin suhteen on myös eroja, Loukaskorvessa on runsaasti puujätteitä sisältävää turvetta, joka on suhteellisen hyvin vettä läpäisevää. Karviannevan ja Lakunevan turvekerrokset ovat puolestaan rahkasaraturpeita, joissa on jonkin verran puujätteitä ja joiden vedenläpäisevyys on vain kohtalainen. Metsäsaramäessä turvelaji on sara-rahkaturvetta, joka läpäisee vettä erittäin huonosti.

Lisäaineiston tutkimusmetsien kuivatuserot ovat myöskin ilmeisiä (vrt. kuva 2). Ojastot ovat hyvin erilaisia ja säännöttömiäkin. Tärkeämpiä kuin tutkimusmetsien keskinäiset erot ovat niiden sisäiset eli saman tutkimusmetsän koealojen väliset erot. Tässäkin mielessä on varmaan eroja, vaikka koealoja aikanaan perustettaessa ne pyrittiin saamaan vesitaloudenkin kannalta mahdollisimman samankaltaisiksi. Ojien asemasta päätellen on ilmeistä, että esim. Kalliojärven koeala 5 samoin kuin Nuijakorven koeala 6 ja Loukaskorven koeala 16 ovat ainakin jonkin verran tehokkaammin kuivuneita kuin toiset saman tutkimusmetsän koealat.

Turvesuhteissa on myös eroja, esim. Kalliojärven alueella turvesyvyys on 2+, mutta Nuijakorvessa vain n. 1.2 m ja Loukaskorvessa 1.4 m. Turvelaji on Kalliojärven koealoilla metsä-rahkaturvetta, jonka vedenläpäisevyys on verrattain heikko, Nuijakorven ja Loukaskorven turve on runsaasti puujätteitä sisältävä ja kohtalaisen hyvin vettä läpäisevää. Tutkimusmetsien sisäiset erot ovat vähäisiä.

Seuraavassa tarkastellaan tutkimusmetsien ja niiden koealojen kokoa, puustoa ja suoritettujen hakkuiden luonnetta. Tarkastelu suoritetaan pääaineiston osalta taulukon 1 ja lisäaineiston osalta taulukon 2 perusteella. Taulukoista nähdään myös mittauksissa käytettyjen pohjavesikaivojen lukumäärä.

Taulukko 1. Pääaineiston tutkimusmetsien koealojen ja niiden puustojen tietoja.

Table 1. Data on the sample plots and the growing stock of the stands of investigation of the principal material.

| Tutkimusmetsä ja koeala<br>Stand of investigation and sample plot | Koko, m<br>Area, m. | Kaivoja, kpl<br>Number of ground water wells | Ennen käsittelyä<br>Prior to treatment      |   |  | Käsittelyn jälkeen<br>After treatment                   |  |                                 | Poistettu<br>Removed |     |
|---|---------------------|--|---|---|--|---|--|---------------------------------|----------------------|-----|
|   |                     |  | Vallitseva puulaji<br>Dominant tree species | Kuutiom.,<br>m <sup>3</sup> /ha<br>Volume,<br>cu.m./ha. | Kasvu, m <sup>3</sup> /ha/v<br>Increment,<br>cu.m./ha./yr. | Kuutiom.,<br>m <sup>3</sup> /ha<br>Volume,<br>cu.m./ha. | Kasvu, m <sup>3</sup> /ha/v<br>Increment,<br>cu.m./ha./yr. | m <sup>3</sup> /ha<br>cu.m./ha. | %<br>per cent        |     |
| Loukaskorpi   | 1a                  | 20 × 25                                      | 5   | Koivu   | 72   | 3.6   | —  | —                               | 72                   | 100 |
| »   | 1b                  | 20 × 25                                      | 5   | Birch   | 88   | 4.3   | 14   | 1.1                             | 75                   | 85  |
| »   | 1c                  | 20 × 25                                      | 5   | »   | 122  | 6.9   | 129  | 6.9                             | —                    | —   |
| Karvianneva   | 2a                  | 20 × 20                                      | 5   | Mänty   | 75   | 3.8   | —  | —                               | 75                   | 100 |
| »   | 2b                  | 20 × 20                                      | 5   | Pine  | 70   | 4.2   | 59   | 3.2                             | 14                   | 20  |
| »   | 2c                  | 20 × 30                                      | 6   | »   | 94   | 4.1   | 98   | 4.1                             | —                    | —   |
| Karvianneva   | 2d                  | 20 × 30                                      | 6   | Mänty   | 101  | 4.6   | 106  | 4.6                             | —                    | —   |
| »   | 2e                  | 20 × 20                                      | 5   | Pine  | 117  | 5.1   | 78   | 3.4                             | 42                   | 36  |
| »   | 2f                  | 20 × 20                                      | 5   | »   | 142  | 4.8   | —  | —                               | 142                  | 100 |
| Lakuneva  | 3a                  | 20 × 20                                      | 5   | Koivu   | 93   | 4.8   | —  | —                               | 93                   | 100 |
| »   | 3b                  | 20 × 20                                      | 5   | Birch   | 156  | 6.2   | 63   | 2.7                             | 96                   | 62  |
| »   | 3c                  | 20 × 20                                      | 5   | »   | 141  | 5.2   | 146  | 5.2                             | —                    | —   |
| Lakuneva  | 3d                  | 20 × 20                                      | 5   | Koivu   | 134  | 5.1   | 139  | 5.1                             | —                    | —   |
| »   | 3e                  | 20 × 20                                      | 5   | Birch   | 127  | 4.8   | 64   | 2.6                             | 66                   | 52  |
| »   | 3f                  | 20 × 20                                      | 5   | »   | 130  | 4.8   | —  | —                               | 130                  | 100 |
| Metsäsaramäki   | 4a                  | 25 × 30                                      | 6   | Mänty   | 58   | 2.7   | 61   | 2.7                             | —                    | —   |
| »   | 4b                  | 25 × 30                                      | 6   | Pine  | 68   | 2.8   | 48   | 2.0                             | 22                   | 32  |
| »   | 4c                  | 25 × 30                                      | 6   | »   | 63   | 2.8   | —  | —                               | 63                   | 100 |
| Metsäsaramäki   | 4d                  | 25 × 30                                      | 6   | Mänty   | 62   | 2.7   | —  | —                               | 62                   | 100 |
| »   | 4e                  | 25 × 30                                      | 6   | Pine  | 55   | 2.3   | 46   | 1.6                             | 11                   | 20  |
| »   | 4f                  | 25 × 30                                      | 6   | »   | 49   | 2.0   | 51   | 2.0                             | —                    | —   |

Pääaineiston tutkimusmetsien koealojen koko ei varmasti ole riittävän suuri. Haihduntaa säätelevä säteilybilanssi saa omia erikoispiirteitään pienien käsittelyalojen reunavaikutuksista (vrt. esim. PENMAN 1963 s. 37—38). Koealat eivät ehkä myöskään ole riittävän suuria ilmentämään pohjavesipinnan todellisia eroja, valunta saattaa pienehköillä koealoilla päästä tasoittamaan vierekkäisillä koealoilla muodostuvia pohjavesipinnan eroja. Tätä reunavaikutusta pohjavesi-

Taulukko 2. Lisäaineiston tutkimusmetsien koealojen ja niiden puustojen tietoja.

Table 2. Data on the sample plots and the growing stock of the stands of investigation of the side material.

| Tutkimusmetsä ja koeala<br>Stand of investigation and sample plot | Koko, m<br>Area, m | Kaivoja, kpl<br>Number of ground water wells | Vallitseva puulaji<br>Dominant tree species | Kuutiomäärä,<br>m <sup>3</sup> /ha<br>Volume,<br>cu.m./ha. | Kasvu,<br>m <sup>3</sup> /ha/v<br>Increment,<br>cu.m./ha./yr. |     |
|---|--------------------|--|---|--|---|-----|
| Kalliojärvi   | 3                  | 30 × 15                                      | 6   | Kuusi — Spruce   | 6   | 0.5 |
| »   | 4                  | 40 × 25                                      | 8   | Mänty — Pine   | 32  | 2.0 |
| »   | 5                  | 40 × 30                                      | 8   | Mänty + Koivu<br>Pine + Birch                              | 38  | 2.0 |
| Nuijakorpi  | 6                  | 30 × 20                                      | 5   | Kuusi + Koivu  | 156   | 8.3 |
| »   | 7                  | 40 × 20                                      | 8   | Spruce + Birch   | 58  | 3.8 |
| »   | 8                  | 40 × 25                                      | 8   | »  | 131   | 6.1 |
| Loukaskorpi   | 13                 | 20 × 20                                      | 5   | Koivu + Kuusi  | 95  | 5.3 |
| »   | 14                 | 20 × 20                                      | 4   | Birch + Spruce   | 58  | 3.7 |
| »   | 15                 | 30 × 20                                      | 6   | Kuusi — Spruce   | 10  | 1.0 |
| »   | 16                 | 30 × 20                                      | 6   | Koivu + Kuusi<br>Birch + Spruce                            | 70  | 5.3 |

pintaan on tutkittu ja siitä on aiheutunut muutamien kaivojen hylkäämistä, kuten seuraavassa luvussa lähemmin esitetään.

Taulukoissa 1 ja 2 esitetyt koealakoot eivät kuitenkaan anna oikeaa kuvaa reunavaikutuksen mahdolliseen arvailuun, itse asiassa hydrologisessa mielessä koealat ovat suurempia. Ensinnäkin käsittelemättä jätettyä koealaa ympäröi aina samanlainen metsä, joten reunavaikutus tulee kysymykseen vain avohakatuissa ja — tosin lievempänä — myös harvennetuissa koealoissa. Toiseksi hakkuuta ei ole koskaan rajoitettu koealan rajaun, vaan sama käsittely ympäröi koealaa vähintään 5 metrin levyisenä vaippana. Avohakatun tai harvennetun alueen koko onkin pienimmillään 30 × 40 ja esim. Karviannevan tapauksissa 40 × 40 m tai enemmän ja Metsäsaramäessä, koeala-asettelun ansiosta, itse asiassa 80 × 45 m.

Lisäaineiston koealojen koosta on syytä todeta, että sekä Kalliojärven että Nuijakorven tutkimusmetsissä koealoja ympäröi verrattain laaja samoin käsitelty alue, joten reunavaikutus ei ainakaan näissä tapauksissa vaikuttane tuloksiin. Sen sijaan Loukaskorvessa käsittelyalue on vain n. 40 × 40 m.

Tutkimuksen kannalta olisi ollut ihanteellista, jos tutkimusmetsät olisivat puustoltaan olleet mahdollisimman homogeenisia. Tässä mielessä on paljonkin toivomisen varaa. Etenkin kuutiomäärät vaihtelevat melko paljon. Osaksi tätä haittaa on pyritty eliminoimaan erottamalla suurempipuustoiset ja pienempi-

puustoiset omiksi käsittelyryhmikseen saman tutkimusmetsän puitteissa, näin on tehty esim. Karviannevan tutkimusmetsässä.

Lisäaineiston koealojen puustoa ei ole mitattu ennen käsittelyä. Kun koealoja perustettaessa tietoisesti pyrittiin puustolliseen samankaltaisuuteen tutkimusmetsien puitteissa mm. relaskooppimittauksia tehden, on syytä olettaa, että alunperin puusto on tutkimusmetsittäin ollut joltisenkin homogeenista.

Taulukon 1 lisäykseksi mainittakoon pääaineiston tutkimusmetsien ja niiden koealojen puustosta seuraavaa: *Loukaskorven* koealat sijaitsevat suhteellisen pienialaisessa korpipoukamassa (vrt. kuva 1), jota ympäröivät kangasmaat ovat avohakattuja. Loukaskorven puusto on ennen käsittelyä ollut n. 40-vuotiaasta koivikko, kuutiomäärä n. 90 m<sup>3</sup>/ha, runkoluku n. 1500 kpl/ha ja kasvu n. 4–6 m<sup>3</sup>/ha. Koivikon alla on ollut kituva kuusitaimisto, jonka kuutiomäärä on ollut vain n. 6–9 m<sup>3</sup>/ha ja runkoluku n. 1400 kpl/ha. Käsittelyssä a-koeala, jonka puusto oli alunperin pienin, hakattiin paljaaksi ja b-koealalta poistettiin koivut.

*Karviannevan* tutkimusmetsä on laaja männikkö, joka on pääosiltaan syntynyt n. 45 vuotta sitten, kuutiomäärä on ennen käsittelyä ollut n. 100 m<sup>3</sup>/ha kuitenkin niin, että a- ja b-koealoilla on puusto ollut vähäisempää ja e- sekä f-koealoilla vartevampaa. Runkoluku on vaihdellut 2400–3000 kpl/ha. Sekapuulajina on esiintynyt vähin koivua ja kuusta. Käsittelyn jälkeen koealasarjan laitimaiset koealat (a ja f) hakattiin paljaaksi ja seuraavat koealat (b ja e) harvennettiin, harvennusaste on ollut varsin lievä.

*Lakunevan* tutkimusmetsä on ennen käsittelyä ollut pienehköalainen koivu-mänty-sekametsä, jossa koivu on kuitenkin ollut selvästi vallitseva. Keskimäärin on männyn osuus ollut n. 35 % kuutiomäärästä, joka on vaihdellut 100–150 m<sup>3</sup>/ha, runkoluku on ollut n. 2500 kpl/ha, ikä n. 55 vuotta. Jonkin verran on koivu-mäntymetsän alla ollut kituvaa kuusitaimistoa. Käsittelyssä hakattiin laitimaiset koealat (a ja f) paljaaksi sekä seuraavissa (b ja e) suoritettiin erittäin voimakas harvennus, jossa poistettiin 50–60 % kuutiomäärästä, mm. kaikki männyt.

*Metsäsaramäen* tutkimusmetsä on laaja-alainen lähes puhdas mäntymetsä, jonka ikä on käsittelyn aikaan ollut n. 65 vuotta ja kuutiomäärä vain n. 60 m<sup>3</sup>/ha ja runkoluku n. 1000 kpl/ha. Puusto on kasvanut pitkään vaillinaisen kuivatuksen varassa ja vasta 1950-luvulla alue ojitettiin tehokkaammin. Käsittelyssä hakattiin laitimaiset koealat (c ja d) paljaaksi ja keskellä olevat harvennettiin joltisenkin lievästi (vrt. kuva 1).

Lisäaineiston tutkimusmetsien puustoista todettakoon taulukon 2 esittämiin tietoihin lisäyksenä seuraavaa:

*Kalliojärven* tutkimusmetsä on kapeahko, tehokkaasti kuivatettu suojuotti, joka on alunperin kasvanut verrattain kituvaa, n. 40-vuotiaasta koivu-mänty-sekametsää, jonka alla tiheä, erittäin kituva, n. 20-vuotias kuusitaimisto. Runkoluku on ollut n. 5000 kpl/ha, josta n. 3000 kpl/ha kuusta ja loput mäntyä ja koivua. Kuutiomäärä on ennen käsittelyä ollut n. 25–30 m<sup>3</sup>/ha. Käsittelyssä, joka suoritettiin v. 1961, siis jo ennen tämän tutkimuksen aloittamista, muodostettiin koeala 3 puhtaaksi kuusitaimistoksi, jossa kuutiomäärä oli vain 6 m<sup>3</sup>/ha ja runkoluku 4100 kpl/ha. Koealalta 4 hakattiin kaikki kuuset sekä koivut ja näin muodostettiin puhdas männikkö, jonka kuutiomäärä mittausjakson aikana oli 32 m<sup>3</sup>/ha ja runkoluku 1600 kpl/ha. Koeala 5 puolestaan jätettiin sekametsäksi, kuutiomäärä on mittausjakson aikana ollut keskimäärin 38 m<sup>3</sup>/ha ja runkoluku 4400 kpl/ha.

*Nuijatorven* tutkimusmetsä on ennen käsittelyä (v. 1960) ollut verrattain kookasta ja tiheääkin kuusi-koivu-sekametsää, jossa on ollut joitakin mänty-yliispuita. Kuutiomäärä on ollut n. 140 m<sup>3</sup>/ha ja runkoluku n. 5000 kpl/ha. Käsittelyssä koeala 6 jätettiin koskematta, kuutiomäärä on mittausjakson aikana ollut 156 m<sup>3</sup>/ha, ikä n. 100 vuotta. Koeala 7 hakattiin siten, että myyntikelpoinen puusto poistettiin, jäljelle jäi 58 m<sup>3</sup>/ha lähinnä alikasvoskuusia ja raippamaisia koivuja, myös kasvu jäi vaatimattomaksi. Koealalta 8 hakattiin vain suurim-

mat ylispuun luontoiset kuuset ja männyt. Jäljelle jäi kohtalaisen tasainen kuusi-koivu-sekametsä, 131 m<sup>3</sup>/ha ja runkoluku 2800 kpl/ha, ikä n. 100 vuotta.

*Loukaskorven* tutkimusmetsä on pienehkö suopoukama, jonka puusto on ollut varsin samankaltainen kuin pääaineiston saman nimisen tutkimusmetsän, jota lähellä se on sijaintinsakin puolesta. Käsittelyssä, joka jälleen on tehty v. 1961 eli ennen tämän tutkimuksen mittauksen alkua, jätettiin koeala 16 hakkaamatta. Mittausjakson aikana kuutiomäärä on ollut 70 m<sup>3</sup>/ha, runkoluku 3400 kpl/ha ja ikä n. 60 v. Koealalta 15 poistettiin koivu, joka merkitsi sitä, että vain kuusitaimisto, 10 m<sup>3</sup>/ha ja 2200 kpl/ha jäi jäljelle. Näin paljastuneen kuusitaimiston ikä oli n. 20 v. Koeala 14 hakattiin siten, että koivu-verhopuustoa harvennettiin voimakkaasti ja jäljelle jäi puusto, joka sisälsi mittausaikana 58 m<sup>3</sup>/ha ja 2600 kpl/ha, näin syntyneen metsän iäksi on saatu 50 v. Koealalla 13 suoritettiin lievä verhopuuston harvennus ja mittausaikana on kuutiomäärä ollut 95 m<sup>3</sup>/ha ja runkoluku 3700 kpl/ha, ikä 60 v.

## Kokeiden järjestely ja mittaukset

Pääaineiston tutkimusmetsien pohjavesipinnan syvyyden mittaukset aloitettiin keväällä 1962, niitä jatkettiin kasvukausi 1963. Talvella 1963–64 suoritettiin koealojen hakkuut, ja tämän jälkeen jatkettiin mittauksia vielä kasvukausina 1964 ja 1965. Myös talvella tehtiin eräitä pohjavesipinnan syvyyden ja lumen paksuuden mittauksia.

Kuten edellä jo on mainittu, on lisäaineiston koealat hakattu vuosina 1960–61 ja pohjavesipinnan mittaukset aloitettiin keväällä 1962 ja niitä jatkettiin kasvukausina 1963 ja 1964.

Pohjavesipinnan mittaukset suoritettiin kullakin koealalla pohjavesikaivolinjalta, joka sijaitsi koealan keskiviivalla lähimmän ojan suuntaisena. Kullakin koealalla oli 4–8 pohjavesikaivoa. Pohjavesikaivot oli tehty kairaamalla yhden metrin syvyisiksi ja 12 cm:n läpimittaisiksi. Liettyminen estämiseksi kaivon upotettiin 1.5 tuuman reijitetty muoviputki, joka oli tuettu turpeen pintaosiin siten, että sen mittaustaso pysyi samana suon pinnan kanssa. Jos siis suon pinta liikkui (vrt. WÄRE 1947), liikkui myös muoviputki ja siihen kiinnitetty mitta-asteikko suon pinnan mukana. Mittaustulokset osoittavat täten suon pinnan ja pohjaveden pinnan välistä etäisyyttä, jota tässä kutsutaan pohjavesipinnan syvyydeksi tai vain vesipinnan syvyydeksi. Uimurina toimi pienehkö korkki, jonka varassa liikkui kevyt alumiininen mittatikka, ja muoviputkeen kiinnitetystä mitta-asteikosta voitiin lukea vesipinnan syvyys. Havaitseminen suoritettiin pääaineiston koealoilla 0.2 cm:n tarkkuudella ja lisäaineiston koealoilla 1 cm:n tarkkuudella. Suon pinnan tasoon kaivon reunaan oli vielä lyöty merkkitikku, jota käytettiin 0-tasona esim. keväällä muoviputkien tasoa talven jälkeen tarkastettaessa.

Kaivot oli peitetty kattohuovan palasella. Tämä lähinnä sen takia, että karikkeiden yms. joutuminen kaivon estyisi. Peittäminen esti myös sadeveden suoran pääsyn kaivon samoin kuin vähensi suoraan kaivon vesipinnasta tapahtuvaa haihduntaa. Näillä seikoilla ei tosin voi olla suurta merkitystä, kuten myöhemmin esitettävästä selviää.



Vesipinnan mittauksia tehtiin yleensä joka toinen päivä, kuitenkin niin, että sateen sattuessa odotettiin vesipinnan tasoittumista seuraavasti: Jos 24 tunnin aikana ennen mittaushetkeä oli satanut enemmän kuin 2 mm mutta vähemmän kuin 5 mm, siirrettiin mittaushetkeä 24 tuntia. Jos sade oli suurempi kuin 5 mm, siirrettiin mittaussajankohtaa 48 tuntia (vrt. MULTAMÄKI 1936).

Reunavaikutuksen tutkimiseksi verrattiin kunkin koealan kaivojen vesipinnan syvyyksiä toisiinsa ja jos suoritettu hakkuu oli aiheuttanut reunakaivojen kohdalla selvää poikkeamista aikaisemmasta tasosta suhteessa toisiin kaivoihin, oli ko. reunakaivo hylättävä. Näin jouduttiin hylkäämään Loukaskorvessa 1, Karviannevalla 3, Lakunevalla 2 ja Metsäsaramäessä 4 kaivoa. Lisäaineiston tutkimusmetsissä ei tällaista kontrollia luonnollisesti voitu suorittaa, mutta kun toimenpidealueet ovat suuria ja koealat kaukana toisistaan, ei reunavaikutus ole voinut näissä tapauksissa ulottua koealalle asti lukuun ottamatta Loukaskorven tutkimusmetsää, jossa tällä seikalla on saattanut olla vaikutusta.

Reunavaikutusta pohjavesipinnan syvyyteen on käsitelty monissa tutkimuksissa. Esim. TROUSDELL ja HOOVER (1955) totesivat, että 20 m:n ja 30 m:n kais-taleet ovat liian pieniä, jotta vesitalouden erot näkyisivät viereisen välimetsän häiritsemättä. Ko. tutkimuksessa maalaji oli kivennäismaata, joten tuloksia ei voi sellaisenaan soveltaa nyt käsillä olevaan työhön. Itse asiassa reunavaikutuksen häiritsevä vaikutusalue on ennen kaikkea riippuvainen maalajista, lähinnä sen vedenläpäisevyydestä. Näin ollen mahdollinen reunavaikutus on tutkittava kussakin tapauksessa erikseen.

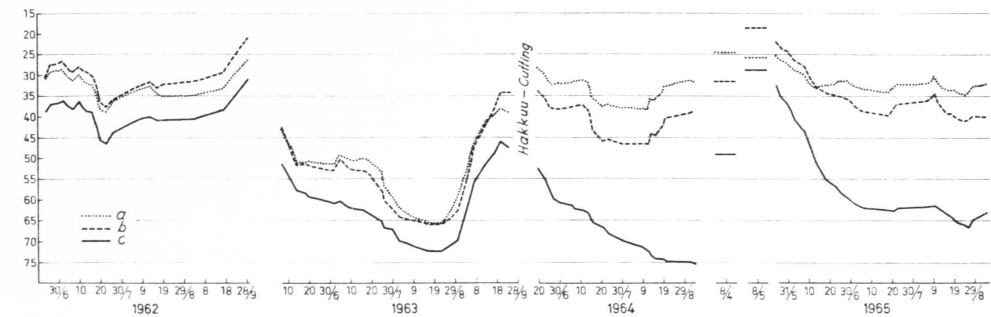
Vesipinnan syvyyden havaitsemisen lisäksi mitattiin sadannan jakaantumista eräissä metsissä. Käytettyä mittausten menetelmää ja saatuja tuloksia on jo aikaisemmin esitelty (PÄIVÄNEN 1966). Samoin on esitelty jo aikaisemmin ns. pohjavesikertoimen eli sen suhdeluvun selvittämistä, joka osoittaa vesipinnan syvyyden muutoksen ja muutoksen aiheuttaneen vesimäärän suhteen (HEIKURAINEN 1963, PÄIVÄNEN 1964). Lisäksi on tutkittu haihtumista eräillä metsäisillä ja aukeaksi hakatuilla koealalareilla käyttäen vesipinnan päivittäistä alenemista, jota on mitattu itsepiirtävillä vesipinnan mittareilla. Myös tätä menetelmää on selostettu aikaisemmin (HEIKURAINEN emt.).

## Pääaineiston tulokset

### Vesipinnan syvyys ennen ja jälkeen hakkuun

Kuvissa 3—6 esitetään pääaineiston koealojen vesipinnan syvyys tutkimusjakson aikana tutkimusmetsittäin. Vesipinta on piirretty viiden havaintokerran liukuvana keskiarvona. Täten on voitu eliminoida vesipinnan lyhytaikaiset vaihtelut, jotka häiritsevät havainnollisuutta.

Karviannevan, Lakunevan ja Metsäsaramäen tutkimusmetsissä on koealat



Kuva 3. Pohjavesipinnan syvyys (cm) Loukaskorven koealoilla.

Fig. 3. The depth of the ground water table (cm) at the sample plots of Loukaskorpi.

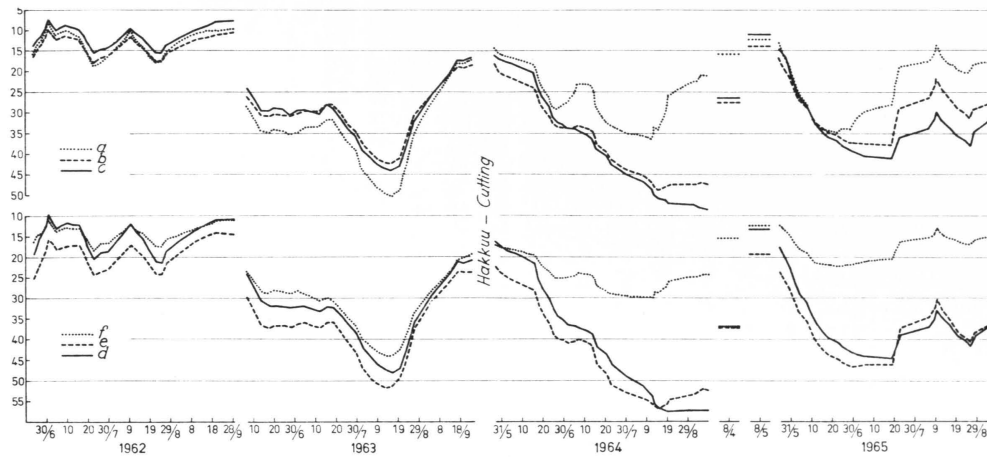
ryhmitelty tulosten tarkastelua varten siten, että koealat a, b ja c muodostavat oman ja koealat d, e ja f oman ryhmänsä, jossa kussakin on avohakattu, harvennettu ja käsittelemättä jätetty koejäsen. Aikaisemmin tämän tutkimuksen esituloksia esiteltäessä (HEIKURAINEN 1966) yhdistettiin tutkimusmetsän saman toimenpiteen koealat yhdeksi koejäseneksi. Nyt suoritettava koealakohtainen tarkastelu on sikäli parempi, että se tarjoaa mahdollisuuden saman tutkimusmetsän puitteissa tarkastella myös erilaisen harvennuksen aiheuttamia mahdollisia eroja. Neljännessä tutkimusmetsässä, Loukaskorvessa, oli vain kolme koealaa.

Kuva 3 esittää Loukaskorven tutkimusmetsän vesipintojen korkeutta ennen hakkuuta (kasvukausina 1962 ja 1963) ja hakkuun jälkeen (kasvukausina 1964 ja 1965). Kuvasta voidaan todeta, että ennen hakkuuta on vesipinta c-koealalla ollut 5—10 cm syvemmällä kuin a- ja b-koealoilla. Syynä lienee c-koealan suurempi puusto. Käsitteilyn jälkeen (v. 1964 ja 1965), jolloin siis a- ja b-koealat hakattiin, on viimeainittujen vesipinta ollut alkukesällä n. 20—25 cm ja loppukesällä peräti 30—40 cm korkeammalla kuin koealalla c, joka jätettiin hakkaamatta.

Verrattaessa a- ja b-koealojen vesipintoja toisiinsa, voidaan todeta, että ennen hakkuuta ne ovat olleet likimain samalla tasolla, mutta käsitteilyn jälkeen on avohakatulla a-koealalla vesipinta ollut yleensä ylempänä kuin b-koealalla, josta poistettiin verhopuusto, mutta kuusen taimisto jätettiin.

Talven 1965 pohjavesisuhteet ovat samanlaiset kuin kasvukausinakin, mutta varhaiskevällä (8.V.) ja vielä myöhemminkin on vesipinta b-koealalla (kuusen taimisto) ollut ylempänä kuin avohakatulla a-koealalla. Tähän on ilmeisesti syytä lumen erilainen määrä ja erilainen sulamisen kulku.

Kuvan 4 yläosa esittää vesipintaa Karviannevan tutkimusmetsän koealoilla a, b ja c. Siitä voidaan todeta, että vaikka vesipinta a-koealalla on ennen hakkuuta (1962 ja 1963) pysytellyt yleensä syvemmällä kuin b- ja c-koealoilla, on pohjavesi sillä avohakkuun jälkeen ollut paljon ylempänä kuin muilla koealoilla. Varsinkin loppukesällä on ero ollut suuri, jopa yli 30 cm. b-koealan erittäin lievä



Kuva 4. Pohjavesipinnan syvyys (cm) Karviannevan koaloilla.

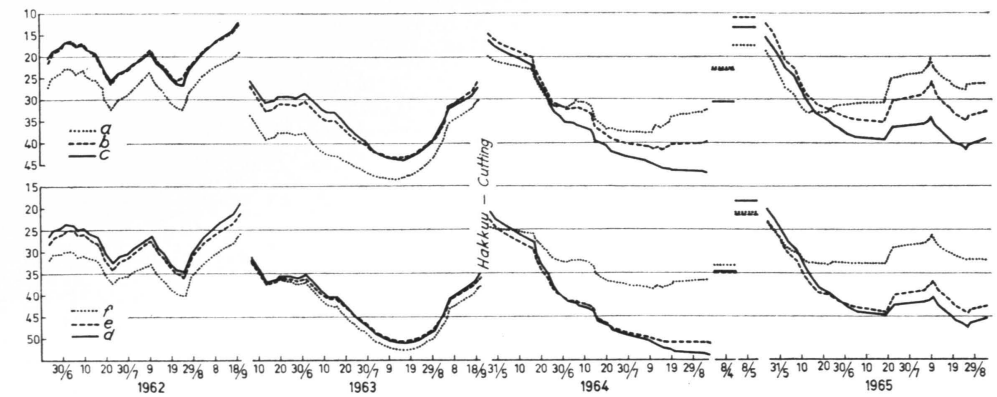
Fig. 4. The depth of the ground water table (cm) at the sample plots of Karvianneva.

harvennus on myös aiheuttanut sen, että pohjavesi on etenkin loppukesällä noussut jonkin verran.

Samat piirteet näkyvät myös kuvan 4 alaosassa, joka kuvaa vesipinnan syvyyttä koaloilla d, e ja f. Ainoa ero edellisiin verrattuna näyttäisi olevan se, että lievähkö harvennus ei näytä saaneen aikaan sanottavaa vesipinnan nousua. Tosin harvennetun e-koalan pohjavesi on loppukesällä ollut hieman korkeammalla kuin käsittelemättömällä d-koalalla, vaikka tilanne on ennen hakkuuta ollut päinvastainen. Syynä harvennuksen vaikutuksen vähäisyyteen on todennäköisesti harvennetun alueen parempi kuivatus (vrt. kuva 1).

Myös tämän tutkimusmetsän talviset pohjavesisuhteet ovat samantapaiset kuin syyskesälläkin, mutta varhaiskevällä suhteet sekoittuvat johtuen jälleen erilaisista lumisuhteista.

Kuvassa 5 esitetään pohjavesisuhteita Lakunevan tutkimusmetsässä. Alekkain piirrettyjen koalaryhmien tulokset ovat hyvin yhdenmukaisia. Ennen hakkuuta on myöhemmin avohakattavilla koaloilla (a ja f) pohjavesi ollut selvästi syvemmällä, mutta hakkuun jälkeen se on noussut huomattavasti korkeammalle kuin muilla koaloilla. Loppukesällä ero käsittelemättömään koalaan verrattuna on n. 15 cm. Harvennuksen vaikutus ilmenee myös selvänä. Harvennus onkin ollut erittäin voimakas etenkin b-koalalla; harvennuksessa poistettiin peräti 62 % kuutiomäärästä. Pohjavesi nousi harvennuksen jälkeen tällä koalalla loppukesällä 5–9 cm korkeammalle kuin käsittelemättömällä. e-koalan harvennus ei ole ollut yhtä voimakas ja vesipinnan nousu on myöskin ollut suhteellisen lievä, vain 2–3 cm. Talviset pohjavesisuhteet ovat saman suuntaiset kuin kesälläkin paitsi että ero eri koalojen välillä on pieni. Varhaiskevään



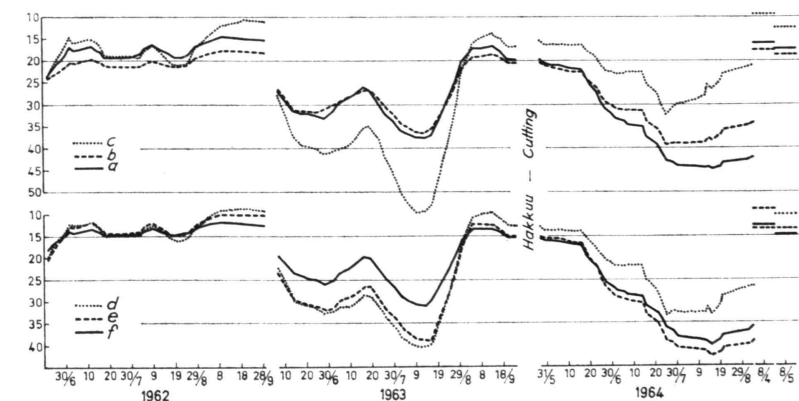
Kuva 5. Pohjavesipinnan syvyys (cm) Lakunevan koaloilla.

Fig. 5. The depth of the ground water table (cm) at the sample plots of Lakuneva.

ja alkukesän aikana hakkuun vaikutus ei vielä tule esille ja tämä aiheutuu jälleen lumisuhteiden eroista.

Kuva 6 esittää Metsäsaramäen tutkimusmetsän koalojen vesipintoja ennen hakkuuta sekä yhtenä kasvukautena hakkuun jälkeen (1964). Valitettavasti vuoden 1965 tutkimukset piti jättää, sillä keväällä 1965 koalojen viereen kaivettiin lisäojia, joiden vaikutus pilasi käynnissä olevan kokeen.

Vuoden 1964 tuloksista nähdään kuitenkin, että a, b ja c-koalasarjassa on avohakkuu nostanut vesipintaa erittäin voimakkaasti. Kun kesällä 1963 vesipinta oli c-koalalla jopa 17–18 cm alempana kuin a- ja b-koalalla, on se avohakkuun jälkeen ollut loppukesällä n. 20 cm ylempänä kuin käsittelemättä jääneellä a-koalalla. Myös harvennuksen vaikutus on ilmeinen. Eroa on hakkuun jälkeisenä kesänä n. 12 cm. Koalasarjassa d, e ja f ovat tulokset samansuuntaiset



Kuva 6. Pohjavesipinnan syvyys (cm) Metsäsaramäen koaloilla.

Fig. 6. The depth of the ground water table (cm) at the sample plots of Metsäsaramäki.

sia, joskaan erot eivät ole muodostuneet yhtä suuriksi. Etenkin harvennuksen vaikutus on vähäinen, mutta myös itse harvennus on ollut varsin lievä. Talven pohjavesisuhteet ovat pääkohdiltaan samankaltaiset kuin kesälläkin, erot vain ovat pienempiä.

### Hakkuun aiheuttama vesipinnan syvyyden muutos

Jo edellä havaittiin, että vertailtavilla koealoilla hakkuun aiheuttama vesipinnan syvyyden ero oli yleensä sitä suurempi mitä syvemmällä vesipinta oli. Erityisen selvästi hakkuun vaikutus tulee esille, jos tutkitaan kontrollikoealan ja käsitellyn koealan pohjaveden syvyyden havaintojen korreloitumista keskenään ennen ja jälkeen toimenpiteen (vrt. kuva 7). Vastaavanlaista tutkimusmenetelmää on yleisesti käytetty tutkittaessa hakkuun vaikutusta valuntaan (esim. HOOPER 1944) tai valunnan riippuvuutta sateesta ennen ja jälkeen hakkuun (esim. KATSUMI 1956).

Jos hakkuu on vaikuttanut vesipinnan syvyyteen, syntyy kaksi pisteparvea. Käsitellyn jälkeen saadut pisteet eroavat ennen käsittelyä saadusta pisteparvesta ja sitä enemmän, mitä suurempi on hakkuun vaikutus vesipinnan syvyyteen ollut. Pisteparvet on mahdollista tasoittaa analyttisestikin ja tällöin voidaan hakkuun vaikutus laskea kuvaajien erotuksena.

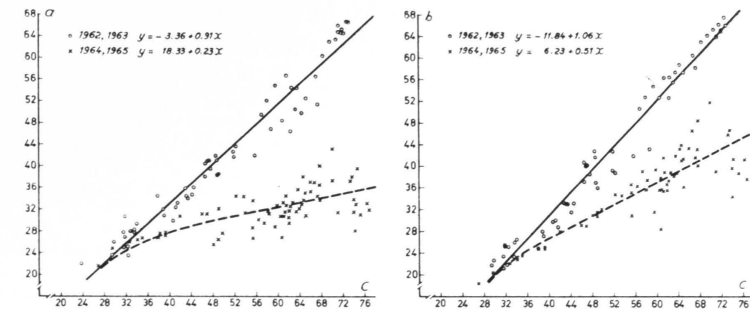
Menetelmällä on vielä se etu, että pisteparven kulusta ennen käsittelyä nähdään kuinka yhdenmukaisia kontrollikoeala ja käsiteltävä koeala ovat olleet. Mitä enemmän yhtälö poikkeaa muodosta  $y = x$ , sitä enemmän käsiteltävä koeala poikkeaa kontrollikoealasta.

Tämän tutkimuksen tapauksissa on se pisteparvi, joka on saatu ennen käsittelyä, tasoitettu analyttisesti ja kuvaaja osoittautui suoraksi. Sen sijaan toimenpiteen jälkeen saatujen pisteiden tasoittaminen on jo ollut vaikeampaa. Ensinnäkin hajonta on paljon suurempi ja tasoitus suoraksi näyttää useimmissa tapauksissa väkijäisesti. Näiden syiden vuoksi ei hakkuun jälkeistä pisteparvea olekaan tasoitettu analyttisesti, vaan käsivaraisesti joskin analyttistä tasoitusta apuna käyttäen.

Loukaskorven tutkimusmetsän tuloksia esittää kuva 7. Avohakatun koealan (a) ja kontrollikoealan (c) pohjavesisuhteet eivät ole olleet aivan samankaltaiset ennen käsittelyäkään, kuten jo edellä pohjavesipinnan syvyyden kronologista vertailua tarkasteltaessa todettiin (vrt. s. 15). Erot eivät kuitenkaan ole olleet kovin suuria, kuten todetaan tasoituspuoran yhtälöstä:

$$y = -3.36 + 0.91 x$$

Se että x:n kerroin on alle yhden, aiheutuu siitä, että a-koealan puusto on vähäisempää kuin c-koealalla ja siten a-koealalla vesipinta on pysynyt hieman ylempänä. Kovin suuresta erilaisuudesta ei kuitenkaan ole kysymys. Avohak-



Kuva 7. Kontrollikoealan ja hakattujen koealojen vesipintojen syvyyden (cm) vertailu ennen ja jälkeen hakkuun Loukaskorvessa.

Fig. 7. Comparison of the water table (cm) of the control plot and the treated plots before and after cutting at Loukaskorpi.

kuun jälkeen on vesipinta noussut siten kuin pisteparvien ero osoittaa eli keskimäärin:

|  |    |    |     |     |     |
|--|----|----|-----|-----|-----|
| Kontrollikoealan vesipinnan syvyys, cm | 35 | 45 | 55  | 65  | 75  |
| Vesipinnan nousu, mm                   | 28 | 82 | 156 | 228 | 296 |

Tarkasteltaessa verhopuuston poistolla käsitellyn b-koealan ja kontrollikoealan eroja ennen toimenpidettä on todettava, että pohjavesisuhteet ovat ennen käsittelyä olleet joltisenkin samankaltaiset, kuten tasoituspuoran yhtälöstä nähdään:

$$y = -11.84 + 1.06 x$$

Tasoero, jota a-kertoimen suuruus (—11.84) osoittaa, on kuitenkin silmiinpistävä suuri. Toisin sanoen b-koealalla pohjavesi on pysytellyt n. 12 cm korkeammalla kuin kontrollikoealalla. Syytä tähän ei ole selvitetty.

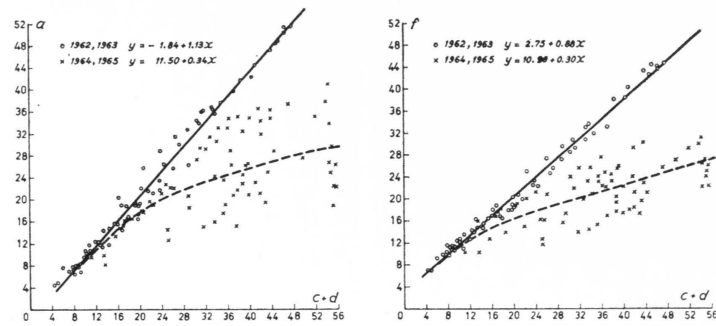
Hakkuu, jossa poistettiin kaikki koivut, mutta alla kasvanut kuusitaimisto jätettiin, on nostanut pohjavesipintaa seuraavasti:

|  |    |    |     |     |     |
|--|----|----|-----|-----|-----|
| Kontrollikoealan vesipinnan syvyys, cm | 35 | 45 | 55  | 65  | 75  |
| Vesipinnan nousu, mm                   | 20 | 68 | 124 | 176 | 232 |

Jos verrataan avohakkuuta ja viimeksi tarkasteltua toimenpidettä toisiinsa, voidaan todeta, että ero ei ole suuri mutta kuitenkin selvältä näyttävä. Toisin sanoen nuori ja suhteellisen vähäinen kuusitaimisto (14 m<sup>3</sup>/ha) on vaikuttanut vesipintaa alentavasti.

Karviannevan tutkimusmetsässä samoin kuin muissakin tutkimusmetsissä, joissa on kaksi sarjaa koealoja, on menetelty niin, että kontrollikoealat on yhdistetty. Näin saatuaan vertailutasoon verrataan erilaisilla toimenpiteillä käsiteltävien koealojen vesipintoja.

Avohakkuu on Karviannevan tutkimusmetsässäkin nostanut vesipintaa voimakkaasti, kuten nähdään kuvasta 8. Kuvan perusteella on ensinnäkin todettava,



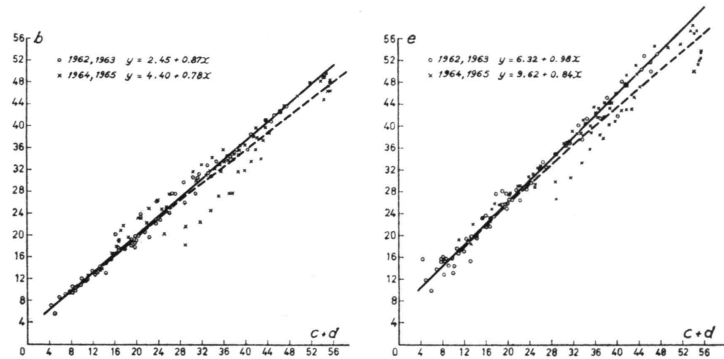
Kuva 8. Kontrollikoealojen ja avohakattujen koealojen vesipintojen syvyyden (cm) vertailu ennen ja jälkeen hakkuun Karviannevan koealoilla.

Fig. 8. Comparison of the water table (cm) of the control plots and the clearcut plots before and after cutting at Karvianneva.

että koeala a ja f eivät pohjavesisuhteittensa puolesta ole ennen käsittelyä olleet enempää toistensa kuin kontrollikoealojenkaan kanssa täysin samanlaisia. Erot aiheutuvat puuston ja kuivatuksen erilaisuudesta. Tästä syystä koealojen keskinäistä vertailua ei ole syytä yksityiskohtaisesti suorittaa. Kuvan osoittama vesipinnan kohoaminen on ollut seuraavanlainen.

|  |       |    |    |     |     |     |
|--|-------|----|----|-----|-----|-----|
| Kontrollikoealan vesipinnan syvyys, cm | ....  | 15 | 25 | 35  | 45  | 55  |
| Vesipinnan nousu koealalla a, mm       | ..... | 12 | 56 | 132 | 220 | 304 |
| » » » f, mm                            | ..... | 20 | 76 | 132 | 184 | 252 |

Kuvasta 9 selviää Karviannevan b- ja e-koealojen lievien harvennusten vaikutus vesipintaan. Nytkin on todettava, että käsiteltävät koealat eivät pohjavesisuhteiltaan tarkoin vastaa enempää toisiaan kuin kontrollikoealojakaan, mutta eivät kovin pahasti ole poikkeaviakaan.



Kuva 9. Kontrollikoealojen ja harvennettujen koealojen vesipintojen syvyyden (cm) vertailu ennen ja jälkeen hakkuun Karviannevan koealoilla.

Fig. 9. Comparison of the water table (cm) of the control plots and the thinned plots before and after cutting at Karvianneva.

Lievä hakkuu ei näytä sanottavasti vaikuttaneen vesipinnan syvyyteen. Pisteparvet eivät nimittäin eroa selvästi toisistaan. Tasoituksen tuloksena on seuraavassa kuitenkin esitetty harvennuksen vaikutus vesipinnan nousuun.

|  |       |    |    |    |    |    |
|--|-------|----|----|----|----|----|
| Kontrollikoealojen vesipinnan syvyys, cm | ....  | 15 | 25 | 35 | 45 | 55 |
| Vesipinnan nousu koealalla b, mm         | ..... | 4  | 8  | 16 | 24 | 32 |
| » » » e, mm                              | ..... | 4  | 12 | 24 | 32 | 44 |

Koealalla e, jossa harvennus on ollut hieman voimakkaampi, on myös pohjavesipinnan kohoaminen ollut hieman suurempi. Eroa tuskin kuitenkaan voidaan pitää merkitsevänä, niin suuri on hajonta.

Lakunevan tutkimusmetsän avohakkuukoaloista on a-koeala ollut pohjavesisuhteiltaan varsin samanlainen kuin kontrollikoealat (c ja d), kuten nähdään kuvasta 10 ennen käsittelyä saatujen pisteiden tasoituspuoran yhtälöstä. Sen sijaan toinen avohakattu koeala poikkeaa melko paljon kontrollikoealoista.

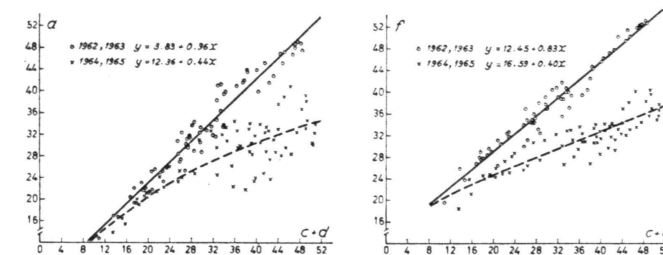
Avohakkuun vaikutus on molemmissa tapauksissa ollut vesipintaa nostava, kuten seuraavasta asetelmasta nähdään.

|  |       |    |    |    |     |     |
|--|-------|----|----|----|-----|-----|
| Kontrollikoealojen vesipinnan syvyys, cm | ....  | 10 | 20 | 30 | 40  | 50  |
| Vesipinnan nousu koealalla a, mm         | ..... | 8  | 28 | 64 | 120 | 176 |
| » » » f, mm                              | ..... | 8  | 48 | 88 | 136 | 176 |

Vesipinnan nousu on ollut pienempi kuin kahdessa edellisessä tutkimusmetsässä, vaikka poistettu kuutiomäärä on ollut samaa suuruusluokkaa kuin edellisissäkin tapauksissa ja sitäpaitsi pääasiassa koivua, jota yleisesti on pidetty erittäin voimakkaasti vettä kuluttavana puulajina (vrt. THURMANN-MOE 1941).

Sen sijaan ei ole aiheellista pohtia koealojen keskinäisiä eroja, toimenpiteen jälkeen saatujen pisteiden hajonta on nimittäin varsin suuri.

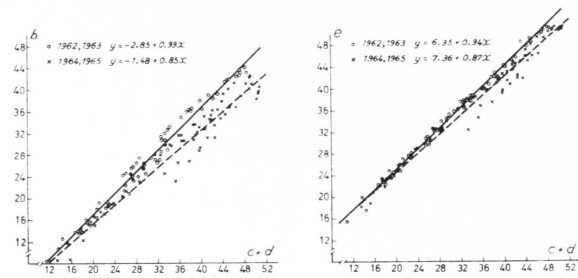
Kuvassa 11 esitetään varsin voimakkaan harvennuksen vaikutusta pohjavesisuhteisiin. Kuten ennen toimenpidettä saatujen pisteiden tasoituspuoran yhtälöstä nähdään, ei kontrollikoealojen ja harvennettävien koealojen pohjavesisuhteissa ole ennen harvennusta ollut sanottavia eroja eivätkä erot ole nousseet



Kuva 10. Kontrollikoealojen ja avohakattujen koealojen vesipintojen syvyyden (cm) vertailu ennen ja jälkeen hakkuun Lakunevan koealoilla.

Fig. 10. Comparison of the water table (cm) of the control plots and the clearcut plots before and after cutting at Lakuneva.





Kuva 11. Kontrollikoealojen ja harvennettujen koealojen vesipintojen syvyyden (cm) vertailu ennen ja jälkeen hakkuun Lakunevan koealoilla.

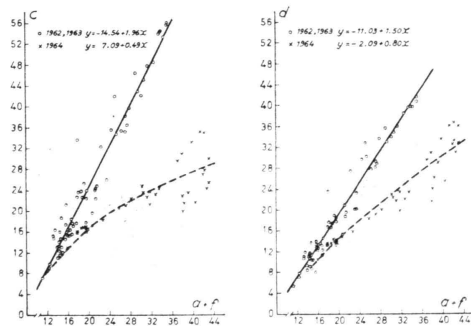
Fig. 11. Comparison of the water table (cm) of the control plots and the thinned plots before and after cutting at Lakuneva.

suureksi hakkuun jälkeenkään. Hakkuu on tosin nostanut vesipintaa, mutta suhteellisen vähän, kuten seuraava asetelma osoittaa.

|  |    |    |    |    |
|--|----|----|----|----|
| Kontrollikoealojen vesipinnan syvyys, cm | 20 | 30 | 40 | 50 |
| Vesipinnan nousu koealalla b, mm         | 20 | 32 | 44 | 60 |
| » » » e, mm                              | 8  | 16 | 24 | 36 |

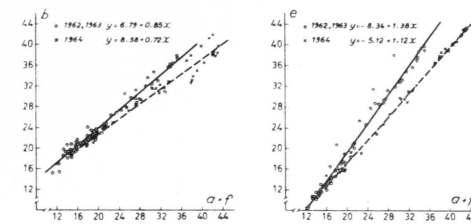
Ottaen huomioon, että molemmilla koealoilla on hakkuissa poistettu yli 50 % puuston kuutiomäärästä, on esitettyä vesipinnan kohoamista pidettävä yllättävän vähäisenä.

Kuvassa 12 tarkastellaan Metsäsaramäen tutkimusmetsän avohakattujen koealojen pohjavesisuhteita. Ennen toimenpiteitä saatujen pisteiden tasoitussuorien yhtälöt kertovat, että kontrollikoealojen (a ja f) pohjavesisuhteet ovat olleet jo ennen toimenpiteitä kovin erilaiset kuin avohakattavien koealojen (c ja d). Kysymyksessä lienee erikoislaatuisten pohjavesivirtailujen aiheuttamat säännöttö-



Kuva 12. Kontrollikoealojen ja avohakattujen koealojen vesipintojen syvyyden (cm) vertailu ennen ja jälkeen hakkuun Metsäsaramäen koealoilla.

Fig. 12. Comparison of the water table (cm) of the control plots and the clearcut plots before and after cutting at Metsäsaramäki.



Kuva 13. Kontrollikoealojen ja harvennettujen koealojen vesipintojen syvyyden (cm) vertailu ennen ja jälkeen hakkuun Metsäsaramäen koealoilla.

Fig. 13. Comparison of the water table (cm) of the control plots and the thinned plots before and after cutting at Metsäsaramäki.

myydet. Kuten aikaisemmin todettiin, tämä tutkimusmetsä on vaillinaisesti kuivattu ja on siten suon pohjavesivirtailujen häiritseville tekijöille altis. Tämän takia hakkuun vaikutusten suuruuden tarkastelu on myös epävarmaa.

Kuvasta voidaan kuitenkin todeta, että avohakkuun vaikutus on ollut erittäin voimakas. Pohjavesi on noussut molemmissa tapauksissa hyvin paljon, kuten seuraava asetelma osoittaa.

|  |    |     |     |     |
|--|----|-----|-----|-----|
| Kontrollikoealojen vesipinnan syvyys, cm | 15 | 25  | 35  | 45  |
| Vesipinnan nousu koealalla c, mm         | 36 | 144 | 288 | 436 |
| » » » d, mm                              | 28 | 84  | 156 | 240 |

Asetelmasta voidaan myös todeta, että puustoltaan varsin samanlaisilla koealoilla on avohakkuun vaikutus ollut kovin erilainen. Tämänkään eron syytä ei ole pystytty selvittämään. Ilmeisesti kyseessä on jälleen pohjavesivirtailujen häiritsevä vaikutus.

Kuvasta 13, joka osoittaa suhteellisen lievän harvennuksen vaikutusta pohjavesisuhteisiin, voidaan todeta, että ero on selvä, joskaan ei suuri, kuten oheinen asetelma jälleen osoittaa.

|  |    |    |    |    |
|--|----|----|----|----|
| Kontrollikoealojen vesipinnan syvyys, cm | 15 | 25 | 35 | 45 |
| Vesipinnan nousu koealalla b, mm         | 4  | 20 | 28 | 44 |
| » » » e, mm                              | 4  | 40 | 60 | 88 |

Vaikka b-koealan harvennus on ollut voimakkaampi kuin e-koealan, on jälkimmäisellä vesipinnan nousu ollut suurempi. Tulos aiheutunee jälleen tutkimusmetsän pohjavesisuhteiden erikoispiirteistä.

### Maan vesivaraston muutos

Lysimetrimenetelmällä on kussakin tutkimusmetsässä erikseen määritetty vesipinnan muutoksen ja sen aiheuttaneen vesimäärän suhde. Koska menetelmää on selostettu jo aikaisemmin, ei sitä tässä yhteydessä tarvitse esitellä lähemmin

(vrt. HEIKURAINEN 1963, PÄIVÄNEN 1964). Mainituissa töissä tätä suhdetta on nimitetty pohjavesikertoimeksi, jonka kaava on

$$G = C \times W, \text{ jossa}$$

G = pohjavesipinnan syvyyden muutos (mm),  
 W = vesivaraston muutos maassa (mm) ja  
 C = kerroin.

Vastaavanlaista suhdetta on käytetty monissa muissa tutkimuksissa (esim. HAUDE 1953, BAY 1963 ja 1966 sekä VIRTA 1966). Usein tätä suhdetta on nimitetty termillä *storage coefficient* (vrt. TODD 1964, s. 4 ja VIRTA emt.), joka on mainitun pohjavesikertoimen käänteisluku. Toisinaan puolestaan asia ilmaistaan käsitteellä *specific yield* (vrt. TODD 1964 s. 13—4 ja BOELTER 1966), jolla tarkoitetaan sitä vesimäärää, joka voi poistua tai tulla tiettyyn tilavuusyksikköön maata. Tämä ilmaistaan tavallisesti sadanneksina tilavuudesta.

Tutkimusmetsien pohjavesikertoimet ovat seuraavan asetelman mukaiset.

| Tutkimusmetsä<br>Stand of investigation | Turvekerros, cm<br>Peat layer, cm |     |     |     |     |     |
|---|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | 20                                | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  |
| Loukaskorpi .....                       | 4.3                               | 4.6 | 4.7 | 4.7 | 4.7 | 4.7 |
| Karvianneva .....                       | 3.7                               | 4.9 | 5.6 | 6.2 | 6.3 | 6.3 |
| Lakuneva .....                          | 4.2                               | 4.2 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 |
| Metsäsaramäki .....                     | 5.1                               | 7.0 | 7.4 | 7.4 | —   | —   |

Pohjavesikertoimien määrittämisestä todettakoon, että kaikille saman tutkimusmetsän koealoille on käytetty yhteistä arvoa, joka on saatu edustavista kohdista otetuilla viidellä lysimetrinäytteellä. Kun tutkimusmetsät ovat turvesuhteiltaan joltisenkin homogeenisia, edustanee näin saatu arvo tyydyttävästi kaikkia saman sarjan koealoja.

Saatuja pohjavesikertoimia apuna käyttäen voidaan hakkuiden aiheuttamat vesipinnan nousut muuttaa vastaaviksi maan vesivaraston lisäyksiksi. Näin on tehty taulukossa 3. Taulukon luvuista havaitaan, että aikoina, jolloin vesipinta kontrollialalla on ollut syvällä, on myös hakkuun aiheuttama vesivaraston lisäys ollut suuri ja aikajaksoina, jolloin vesipinta on ollut korkealla on vesivaraston lisäys jäänyt vähäiseksi. Edelleen voidaan todeta, että kaikilla avohakatuilla koealoilla vesivaraston suureneminen on ollut suurempi kuin harvennuskoealoilla.

Koealojen keskinäiseen vertailuun antaa paremman mahdollisuuden taulukon viimeisessä sarakkeessa oleva lukusarja. Nämä luvut tarkoittavat toimenpiteen jälkeisenä havaintoaikana todettua suurinta vesivaraston lisäyksen määrää. Ajankohta, jolloin hakkuun aiheuttama vesivaraston lisäys oli suurimmillaan, sattui elokuun loppupuoliskolle 1964.

Suurin vesivaraston lisäys on kaikissa avohakatuissa tapauksissa samaa suuruusluokkaa, ellemmme ota lukuun Metsäsaramäen tutkimusmetsää, jossa vailli-

Taulukko 3. Hakkuun aiheuttama maan vesivaraston lisäys (mm).  
 Table 3. The increase in the water supplies of the soil due to cutting (mm).

| Tutkimusmetsä ja koeala<br>Stand of investigation and sample plot | Hakkuun luonne<br>Character of cutting done | Puusto, m <sup>3</sup> /ha<br>Stock, cu.m./ha. |             | Kontrollikoealan vesipinnan syvyys, cm<br>Depth of the water table at control plot, cm |    |    |    |    | Maksimi<br>Maximum |
|---|---|--|-------------|--|----|----|----|----|--------------------|
|   |   | Poistettu<br>Removed                           | Jäi<br>Left | 20   | 30 | 40 | 50 | 60 |                    |
|   |   |  |             |  |    |    |    |    |                    |
| Loukaskorpi 1a  | Avohakkuu<br>Clear-cutting                  | 72   | 0           | —  | 2  | 11 | 26 | 40 | 66                 |
| » 1b  | Verhop.poisto<br>Removal of shelter trees   | 75   | 14          | —  | 1  | 9  | 21 | 33 | 52                 |
| Karvianneva 2a  | Avohakkuu                                   | 75   | 0           | 9  | 20 | 32 | 43 | —  | 50                 |
| » 2f  | Clear-cutting                               | 142  | 0           | 12   | 21 | 28 | 35 | —  | 41                 |
| » 2b  | Harvennus                                   | 14   | 59          | 1  | 2  | 3  | 4  | —  | 5                  |
| » 2e  | Thinning                                    | 42   | 78          | 1  | 3  | 5  | 6  | —  | 7                  |
| Lakuneva 3a   | Avohakkuu                                   | 93   | 0           | 7  | 15 | 28 | 41 | —  | 43                 |
| » 3f  | Clear-cutting                               | 130  | 0           | 11   | 21 | 32 | 41 | —  | 42                 |
| » 3b  | Harvennus                                   | 96   | 63          | 5  | 8  | 10 | 14 | —  | 14                 |
| » 3e  | Thinning                                    | 66   | 64          | 2  | 4  | 6  | 8  | —  | 8                  |
| Metsäsaramäki 4c  | Avohakkuu                                   | 63   | 0           | 11   | 30 | 48 | —  | —  | 59                 |
| » 4d  | Clear-cutting                               | 62   | 0           | 10   | 16 | 27 | —  | —  | 30                 |
| » 4b  | Harvennus                                   | 22   | 48          | 2  | 3  | 5  | —  | —  | 6                  |
| » 4e  | Thinning                                    | 11   | 46          | 5  | 7  | 10 | —  | —  | 11                 |

naisen kuivatuksen johdosta pohjaveden vertailut sekoittivat tuloksia. Suurin arvo on 66 ja pienin 44 mm. Hakatun puuston määrä enempiä kuin puulajikaa ei tunnu selittävän vesivaraston muutoksen eroja. Myöskin harvennuksen vaikutus vaihtelee näennäisen säännöttömästi. Erityisen merkillepantavaa on, että hyvinkin voimakkaan harvennuksen vaikutus jää suhteellisen vähäiseksi, kuten nähdään Lakunevan 3 b ja 3 e-koealoista, joissa poistetun puuston määrä on samaa suuruusluokkaa kuin monissa avohakatuissa koealoissa, mutta vesivaraston lisääntyminen on kuitenkin varsin vaatimaton. Hakkuun aiheuttama vesivaraston lisääntyminen näyttää enemmän riippuvan hakkuualalle jäävän kuin siitä poistetun puuston määrästä.

### Hakkuun vaikutus maahan tulevaan sadantaan

Kaikissa tutkimusmetsissä on kasvukausina 1964 ja 1965 mitattu sateen pättymistä latvustoon. Mittaukset suoritettiin 1. 6.—31. 8. välisenä aikana. Kun näitä mittauksia on lähemmin esitelty toisaalla (PÄIVÄNEN 1966), riittää tässä yhteydessä vain tulosten toteaminen. Oheiseen asetelmaan on laskettu molempien kasvukausien ajalta sadannan ja pidännän summat.

|                |      | Vapaa sadanta, mm | Metsikkö-sadanta, mm | Pidäntä |                       |
|----------------|------|-------------------|----------------------|---------|-----------------------|
|                |      |                   |                      | mm      | % vapaasta sadannasta |
| Loukaskorpi,   | 1964 | 144.5             | 109.6                | 34.9    | 24.1                  |
| »              | 1965 | 182.1             | 135.3                | 46.8    | 25.7                  |
| Karvianneva,   | 1964 | 144.5             | 107.5                | 37.0    | 25.6                  |
| »              | 1965 | 182.1             | 133.7                | 48.4    | 26.6                  |
| Lakuneva,      | 1964 | 144.3             | 115.2                | 29.1    | 20.2                  |
| »              | 1965 | 182.1             | 143.8                | 38.3    | 21.0                  |
| Metsäsaramäki, | 1964 | 140.8             | 91.3                 | 49.5    | 35.1                  |
| »              | 1965 | 174.7             | 116.4                | 58.3    | 33.4                  |

Luvuista todettakoon ensinnäkin, että Metsäsaramäen tutkimusmetsän pidäntään sisältyy myös varpukasvillisuuden pidäntä (vrt. PÄIVÄNEN 1966). Kun varpukasvillisuus kärsi voimakkaasti paljaakshakkuusta, voitaneen varpukasvillisuuden pidäntä rinnastaa tässä puustopidäntään. Muissa tutkimusmetsissä varpukasvillisuutta ei sanottavasti ole ollut. Asetelmasta voidaan edelleen todeta, että pidäntä on ollut varsin suuri, monissa tutkimusmetsissä jopa samaa suuruusluokkaa kuin vesivaraston suurenemisen maksimiarvo, kuten nähdään seuraavasta asetelmasta, jossa vuoden 1964 avohakattujen koealojen vesivaraston suurenemisen maksimiarvoja on verrattu latvuspikäntään samana vuonna.

|               | Vesivaraston maksimilisäys, mm | yhteensä, mm | Pikäntä % vesivaraston maksimilisäyksestä |
|---------------|--------------------------------|--------------|---|
| Loukaskorpi   | 66                             | 35           | 53  |
| Karvianneva   | 46                             | 37           | 80  |
| Lakuneva      | 43                             | 29           | 67  |
| Metsäsaramäki | 59                             | 50           | 85  |

Vesivaraston lisääntyminen on ilmaistu avohakattujen koealojen vastaavien arvojen keskiarvona paitsi Metsäsaramäen tutkimusmetsässä, jossa vesivaraston lisääntyminen on otettu vain c-koealalta, koska — kuten edellä on todettu — d-koealan pieni vesivaraston muutos ilmeisesti on virheellinen.

Asetelmasta voimme todeta, että avohakkuussa menetetty pidäntä on 53—85 % siitä maan vesivaraston suurenemisesta, jonka hakkuu on aiheuttanut. Kyseessä on kuitenkin kuivanpuoleinen kesä. Jos kyseessä on märkä kesä, saattaa pidäntä jopa ylittää vastaavana aikana tapahtuneen vesivaraston suurenemisen. Näin on käynyt kesällä 1965, kuten nähdään seuraavasta asetelmasta.

|             | Vesivaraston maksimilisäys, mm | yhteensä, mm | Pikäntä % vesivaraston maksimilisäyksestä |
|-------------|--------------------------------|--------------|---|
| Loukaskorpi | 45                             | 47           | 104                                       |
| Karvianneva | 38                             | 48           | 126                                       |
| Lakuneva    | 36                             | 38           | 106                                       |

Edellä olevan perusteella voidaan todeta, että se maahan tuleva sadannan lisäys, joka vastaa pidäntää, saattaa jo yksin selittää avohakkuun aiheuttaman maan vesivaraston lisääntymisen, sateisina kesinä saattaa maahan tuleva sa-

dannan lisäys olla jopa suurempi kuin maan vesivaraston lisäys. Osa tästä sadannan lisäyksestä on siis poistunut valuntana.

Harvennushakkuiden suhteellisen pieni vaikutus maan vesivarastoon selittyy myös pidäntätutkimusten perusteella. Kuten esim. PÄIVÄNEN (1966) on osoittanut, ei pidäntä nimittäin lisäännä samassa suhteessa puuston kuutiomäärän (tai esim. pohja-pinta-alan) kanssa, vaan säilyy tietyn kuutiomäärän jälkeen lähes samana. Ellei harvennus siis ole erittäin voimakas, ei pidännän sanottavasti tarvitse muuttua.

Tämän työn kannalta on paikallaan tarkastella myös hakkuun aiheuttamia lumisuhteiden mahdollisia muutoksia. Kuten useissa tutkimuksissa (esim. SEPÄNEN 1961) on todettu, on lumen paksuus ja myöskin sen maksimivesiarvo metsänaukossa suurempi kuin metsässä, vaikka aukealla lunta onkin keskimäärin vähemmän kuin metsässä. Näin osoittautui myös tässä tutkimuksessa, kuten seuraavista lumen paksuutta eräinä ajankohtina koskevista luvuista voidaan todeta.

|               |            | Avohakattu | Harvennettu | Käsittelymätön |
|---------------|------------|------------|-------------|----------------|
| Loukaskorpi   | 8. 4. 1965 | 77 cm      | 87 cm       | 53 cm          |
| »             | 5. 4. 1966 | 86 »       | 71 »        | 67 »           |
| Karvianneva   | 8. 4. 1965 | 64 »       | 45 »        | 52 »           |
| »             | 5. 4. 1966 | 86 »       | 68 »        | 66 »           |
| Lakuneva      | 8. 4. 1965 | 67 »       | 58 »        | 52 »           |
| »             | 5. 4. 1966 | 87 »       | 78 »        | 72 »           |
| Metsäsaramäki | 8. 4. 1965 | 76 »       | 54 »        | 50 »           |

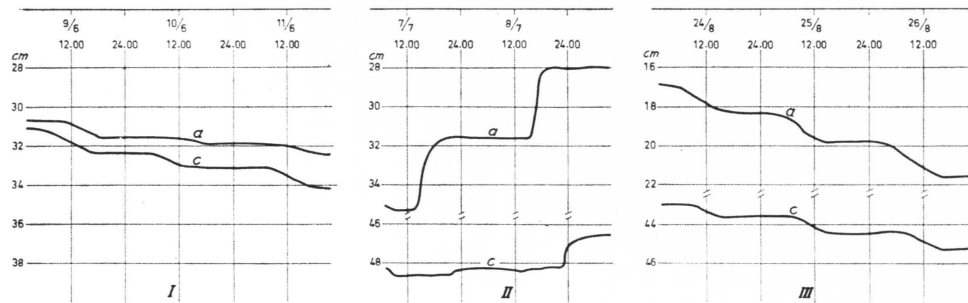
Luvuista on syytä todeta, että myös lumisuhteet johtavat avohakattujen ja harvennettujen koealojen vesivaraston suurenemiseen käsittelemättömiin koealoihin verrattuna.

Mittaukset ovat kuitenkin olleet vain alustavia, eikä niiden perusteella ole syytä pyrkiä kvantitatiivisten erojen lähempään selvittelyyn. Sen sijaan on syytä todeta, että varhaiskevään kontrollikoealojen ja käsiteltyjen koealojen pienet vesipinnan erot, jotka eräissä tapauksissa ovat olleet jopa päinvastaisia kuin yleensä kasvukauden pohjavesisuhteet, eivät siis voi selittyä lumisuhteiden eroista. Ilmeisesti selitys on löydettävissä lumen sulamisen eriaikaisuudesta. On nimittäin aivan ilmeistä, että aukossa ja metsässä lumen sulaminen on ollut ainakin jossakin määrin eriaikaista (vrt. YLI-VAKKURI 1960).

### Avohakkuun vaikutus haihduntaan

Seuraavassa tarkastellaan maasta tapahtuvaa haihduntaa, siis evaporaatiota plus aluskasvillisuuden ja puuston transpiraatiota. Puuston pidäntää ei seuraavassa oteta huomioon.

Kasvukausina 1965 ja 1966 tutkittiin haihduntaa vesipinnan päivittäiseen ale-



Kuva 14. Esimerkkejä pohjavesipinnan muutoksista avohakatulla (a) ja metsäisellä (c) koealalla.

Fig. 14. Examples of the changes in the ground water table in a clearcut (a) and a forest-covered (control) plot (c).

nemiseen perustuvalla menetelmällä itsepiirtäviä vesipinnan syvyyden mittareita käyttäen. Menetelmää on selostettu aikaisemmin (vrt. HEIKURAINEN 1964).

Kuvassa 14 nähdään esimerkkejä haihdunnan aiheuttamasta vesipinnan alenemisestä ja myös sateen aiheuttamasta vesipinnan noususta Karviannevan ja Lakunevan kontrollikoealoilla ja avohakatuilla koealoilla. Piirroksat osoittavat, että sateen aiheuttama vesipinnan nousu on avohakatulla koealalla paljon voimakkaampi kuin metsäisellä koealalla (osa II). Tämä luonnollisesti aiheutuu edellä käsitellystä pidännästä ja sen puuttumisesta avohakatulla alueella. Edelleen kuvista nähdään, että jos vesipinta on suurin piirtein samalla tasolla vertailtavilla koealueilla, on kontrollikoealan vesipinnan aleneminen ehkä jonkin verran suurempi kuin avohakatun koealan (osa I). Mutta kun vesipinta kontrollikoealalla kesän mittaan laskee avohakatun koealan vesipintaa alemmaksi, niin haihduntaa ilmaiseva vesipinnan päivittäinen aleneminen jää kontrollikoealalla vähitellen pienemmäksi kuin avohakatulla koealalla (osa III). Tämä aiheutuu siitä monissa tutkimuksissa todetusta seikasta, että haihdunta pienenee voimakkaasti vesipinnan laskiessa (vrt. esim. STÅLFELT 1944, WÄRE 1947, LADEFOGED 1956, ROMANOV 1956, TODD 1959 s. 156, MOLCHANOV 1963 s. 276 ja VIRTA 1966).

Vaikka haihdunnan vertaaminen avohakatulla ja kontrollikoealalla ei kaikilta osiltaan ole mahdollista, on kesien 1965 ja 1966 ajalta poimittu itsepiirtävien mittarien käyriltä tapauksia, joissa haihdunnan laskeminen on ollut mahdollista ja näiden päivien kohdalla on suoritettu vertailu, joka voinee antaa myös kvantitatiivista kuvaa mahdollisista haihduntaeroista käsittelemättömillä ja avohakatuilla koealoilla. Haihdunnan laskemiseen sopivia päiviä kertyi kasvukaudelta 1965 Loukaskorven tutkimusmetsästä 24 ja Lakunevan tutkimusmetsästä 30. Karviannevan tutkimusmetsässä tehtiin mittauksia kesällä 1966, tällöin kertyi 25 päivän haihduntahavainnot.

Aineistoa on käsitelty seuraavalla tavalla. Ensin aineisto on ryhmitelty kol-

meen yhtäsuureen luokkaan kontrollikoealan ja avohakatun koealan vesipintojen syvyyden eron mukaan. Ryhmään I on viety havainnot, joissa tämä ero on pieni, ryhmään III havainnot, joissa ero on suurin ja ryhmä II on näiden väliltä. Kussakin ryhmässä on laskettu haihduntalukujen keskiarvot ja tutkittu F-testillä erojen mahdollista merkitsevyyttä. Lisäksi on kussakin ryhmässä laskettu kontrollikoealan ja avohakatun koealan vesipintojen syvyyden erojen keskiarvo, samoin pohjavesipintojen keskiarvot. Tulokset nähdään taulukossa 4.

Taulukko 4. Haihdunta (ilman pidäntää) avohakatuilta ja käsittelemättömillä koealoilta. Table 4. Evapotranspiration (interception excluded) at clear-cut and untreated sample plots.

| Aineisto<br>Material | Vesipintojen<br>Water table |                         |                            | Haihdunta,<br>mm/24 t<br>Evapotranspiration,<br>mm./24 h. |                         | F                               |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|---|-------------------------|---------------------------------|
|                      | syvyys cm<br>Depth, cm.     |                         | ero, cm<br>Difference, cm. | metsä<br>in the<br>forest                                 | aukko<br>in<br>openings |                                 |
|                      | metsä<br>in the<br>forest   | aukko<br>in<br>openings |                            |   |                         |                                 |
| Loukaskorpi 1965 I   | 48.7                        | 32.3                    | 16.4                       | 1.8   | 2.2                     | 1.14                            |
| » » II               | 53.1                        | 31.3                    | 21.8                       | 2.7   | 3.2                     | 3.65 (F <sub>5%</sub> 5.59)     |
| » » III              | 56.2                        | 27.9                    | 28.3                       | 1.0   | 2.7                     | 70.00** (F <sub>1%</sub> 12.25) |
| Karvianneva 1966 I   | 22.3                        | 19.2                    | 3.1                        | 3.9   | 5.1                     | 7.67* (F <sub>5%</sub> 5.32)    |
| » » II               | 18.8                        | 14.2                    | 4.6                        | 3.9   | 4.5                     | 2.05                            |
| » » -III             | 21.8                        | 11.6                    | 10.2                       | 3.4   | 6.5                     | 19.29** (F <sub>1%</sub> 11.26) |
| Lakuneva 1965 I      | 32.7                        | 30.6                    | 2.1                        | 2.1   | 1.7                     | 2.53 (F <sub>5%</sub> 3.18)     |
| » » II               | 46.8                        | 31.8                    | 15.0                       | 1.5   | 2.5                     | 28.81** (F <sub>1%</sub> 10.56) |
| » » III              | 47.7                        | 25.9                    | 21.8                       | 1.7   | 2.7                     | 7.33*                           |

Voidaan todeta, että yleensä tapauksissa I, jolloin siis vesipinta on vertailtavilla koealoilla ollut lähes samalla tasolla, haihdunta metsästä ja aukosta ei ole ainakaan merkittävästi ollut erilainen. Tapauksissa II ja III on aukosta tapahtuva haihdunta yleensä ollut merkitsevästi suurempi kuin metsästä, ryhmässä III, jossa vesipinta metsässä on ollut huomattavasti syvemmällä kuin aukossa, ero on jo varsin suuri.

Vaikka haihdunta-aineisto ei tarkasti ottaen oikeuta tekemään koko kasvukautta koskevia vertailuja, voitaneen aineistojen keskiarvoista kuitenkin päätellä, että aukon haihdunta on ollut kasvukauden aikana suurempi kuin metsän haihdunta, kuten seuraava asetelma osoittaa.

|             |      | Haihdunta keskimäärin, mm/24 t |       |
|-------------|------|--------------------------------|-------|
|             |      | metsä                          | aukko |
| Loukaskorpi | 1965 | 1.8                            | 2.7   |
| Karvianneva | 1966 | 3.7                            | 5.4   |
| Lakuneva    | 1965 | 1.8                            | 2.3   |



On syytä korostaa, että luvut eivät edusta koko kasvukautta, vaan ainoastaan niitä päiviä, jolloin haihdunta on käytetyllä menetelmällä voitu mitata. Myöskään tutkimusmetsien keskinäisiin eroihin ei ole syytä kiinnittää huomiota, koska havainnot eivät ole samoilta päiviltä.

Edellä olevasta voimme siis todeta, että jos latvuspäntä jätetään tarkastelun ulkopuolelle, haihtuu aukosta enemmän kuin metsästä. Jos pohjavesi kuitenkin on korkealla ja vesipinnan syvyys on lähes sama metsässä ja aukossa, saattaa haihdunta metsästä olla jopa suurempi, mutta vesipinnan syvyyden lisääntyessä metsässä enemmän kuin aukossa muuttuvat haihduntasuhteet päinvastaisiksi. Kun viime mainittu tilanne on kasvukauden aikana lähes sääntö ja edellinen vain poikkeus, on ymmärrettävää, että kesän mittaan aukosta haihtuu enemmän kuin metsästä.

Näyttäisi siis siltä, että hakkuun aiheuttamat haihdunnan muutokset ovat aluksi omiaan synnyttämään vesitalouseroja eli lisäämään avohakatuksen maan vesivarastoa, mutta kun vesivaraston erot ovat kasvaneet riittävän suuriksi muuttuu haihdunnan vaikutus eroja tasoittavaksi.

### Lisäaineiston tulokset

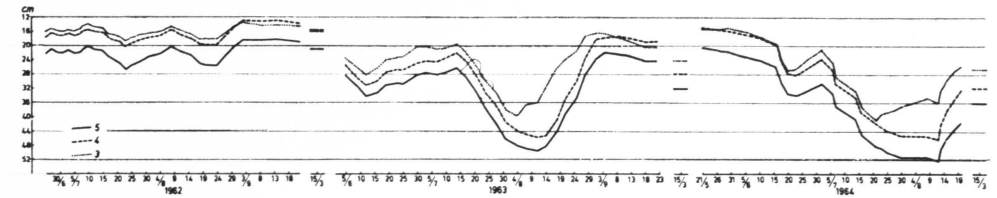
Kuvissa 15 ja 16 esitetään Kalliojärven tutkimusmetsän koealojen tuloksia. Palautettakoon lyhyesti mieliin koealojen puustolliset pääpiirteet. Alunperin koealojen puusto on ollut mänty-koivu-kuusi-sekataimisto, jossa kuusi on jäänyt alikasvokseksi. Hakkuilla koealasta 3 tehtiin puhdas kuusitaimisto, 4 hakattiin männiköksi ja 5 jätettiin koskematta.

Koealojen vesipinnan syvyyden kulkua kasvukausina 1962, 1963 ja 1964 osoittavasta kuvasta todetaan, että käsittelemättä jääneellä koealalla 5 pohjavesi on ollut syvimmällä koko havaintoajan ja vain pientä kuusitaimistoa kasvavalla koealalla 3 puolestaan korkeimmalla. Sama tilanne on säilynyt myös talvella.

Kuvassa 16 on verrattu molempia käsiteltyjä koealoja käsittelemättömiin ja vertailtavien koealojen pohjavesisuhteiden mahdollinen samankaltaisuus, joka voidaan olettaa vallinneen ennen käsittelyä, on merkitty katkoviivalla näkyviin. Havaitsemme, että koealalla 3 pohjavesi on ollut 5–20 cm korkeammalla kuin koealalla 5. Edelleen havaitaan, että koealalla 4 pohjavesipinta on ollut vain vähän ylempänä kuin koealalla 5.

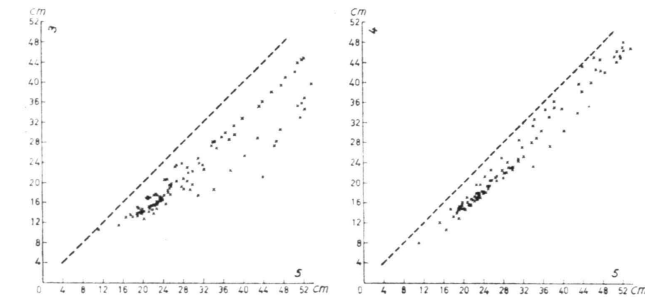
Kuvista 17 ja 18 selviää Nuijakorven tutkimusmetsän tulokset. Kuten aikaisemmin (taul. 2, s. 11) on selostettu, oli tutkimusmetsä alunperin ollut joltisenkin runsaspuustoinen kuusi-koivusekametsä, jossa lisäksi on ollut joitakin mäntyylispuita. Hakkuissa koeala 6 jätettiin käsittelemättä, koealalta 8 poistettiin vain ylispuut ja koeala 7 hakattiin pahoin pilalle. Alueelle kuitenkin jäi alikasvoksena kasvanutta kuusta ja koivua suhteellisen runsaasti.

Tulosten tarkastelua heikentää se, että kesällä 1963 samoin kuin loppukesällä 1964 osa kaivoista kuivui. Kesän 1963 tilanne on kuitenkin voitu hahmotella jol-



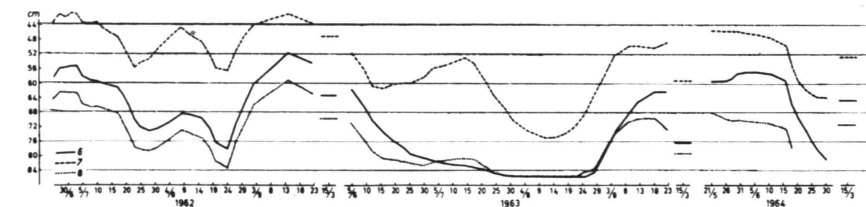
Kuva 15. Pohjavesipinnan syvyys Kalliojärven koealoilla.

Fig. 15. The depth of the ground water table at the sample plots of Kalliojärvi.



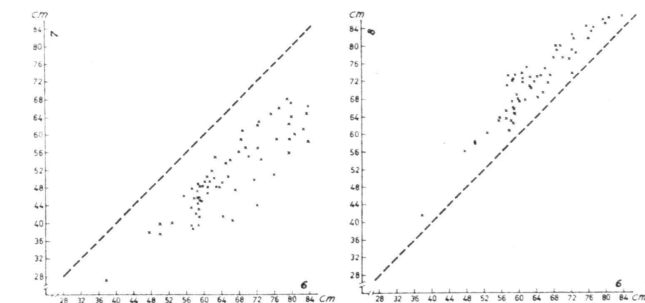
Kuva 16. Käsittelemättömiin koealoihin (5) ja hakattujen koealojen vesipintojen syvyyden vertailu Kalliojärven koealoilla.

Fig. 16. Comparison of the water table at the untreated plot (5) and the cut plots at Kalliojärvi.



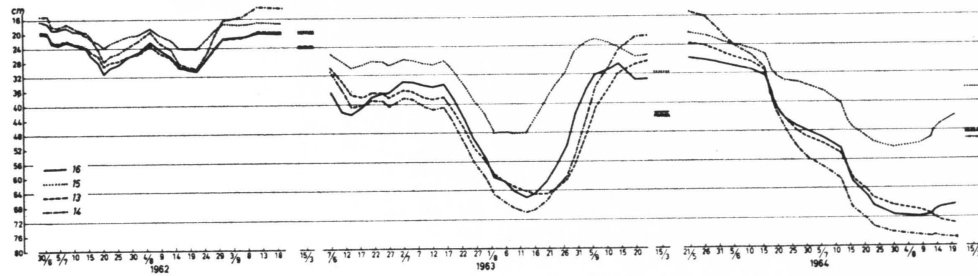
Kuva 17. Pohjavesipinnan syvyys Nuijakorven koealoilla.

Fig. 17. The depth of the ground water table at the sample plots of Nuijakorpi.



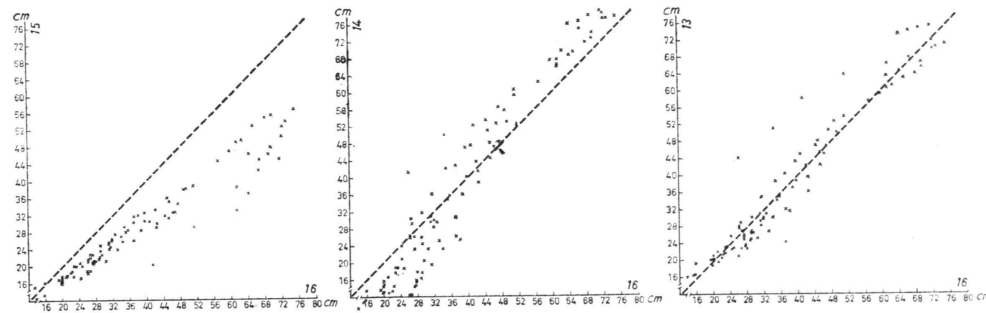
Kuva 18. Käsittelemättömiin koealoihin (6) ja hakattujen koealojen vesipintojen syvyyden vertailu Nuijakorven koealoilla.

Fig. 18. Comparison of the water table at the untreated plot (6) and the cut plots at Nuijakorpi.



Kuva 19. Pohjavesipinnan syvyys lisäaineiston koealoilla Loukaskorvessa.

Fig. 19 The depth of the ground water table at the sample plots of the side material at Loukaskorpi.



Kuva 20. Käsittelemättömän koealan (16) ja hakattujen koealojen vesipintojen syvyyden vertailu lisäaineiston koealoilla Loukaskorvessa.

Fig. 20. Comparison of the water table at the untreated plot (16) and the cut plots of the side material at Loukaskorpi.

tisellakin luotettavuudella, mutta kesäkuun loppupuolelta alkaen ei kesän 1964 tuloksia ole voitu piirtää.

Kuvasta nähdään, että pilalle hakatulla koealalla 7 pohjavesi on ollut huomattavasti korkeammalla kuin toisilla vertailukoealoilla. Koealojen 6 ja 8 välillä ei sen sijaan ole kaikin ajoin täysin selvää eroa.

Kuvasta 18 voidaan todeta, että voimakkaasti hakatulla koealalla 7 on pohjavesi ollut vähintään 10 cm ja suurimmillaan lähes 30 cm korkeammalla kuin käsittelemättömällä, kun puolestaan vain ylispuut poistetulla koealalla 8 pohjavesi on yleensä ollut jopa syvemmällä kuin käsittelemättömällä koealalla.

Kuvissa 19 ja 20 esitetään Loukaskorven tutkimusmetsän tuloksia. Selvimpänä tuloksena molemmista kuvista käy esille, että koealalla 15, joka oli hakattu paljaaksi lukuun ottamatta pienehköä kuusitaimistoa, pohjavesi on ollut korkeammalla kuin muilla koealoilla muutamia varhaiskevään ja syksyn lyhyitä aikajaksoja lukuun ottamatta, jolloin voimakkaasti harvennetun koealan 14 vesipinta on ollut vielä ylempänä. Muuten on hakkuiden vaikutusta vaikea havaita.

Yhteenvedon lisäaineiston tuloksista voidaan todeta, että vain hyvin voimak-

kaat hakkuut ovat selvästi nostaneet pohjaveden pintaa. Käytetyn tutkimusmenetelmän ekstensiivisyydestä johtuen eivät pienet erot tosin ole voineet tulla esille.

## Tulosten yhdistelmä

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään hakkuun vaikutus ojitettujen soiden vesitalouteen. Pääosa aineistoa kerättiin tutkimusmetsistä, joiden koealoilla mitattiin vesitalouden tunnuksia, lähinnä vesipinnan syvyyttä, ennen ja jälkeen toimenpiteitä. Tuloksia pyrittiin täydentämään jo ennen tutkimusta hakatuilla koealasarjoilla vertaamalla eri tavalla käsiteltyjen koealojen vesipinnan syvyyttä toisiinsa. Osoittautui, että luotettaviin tuloksiin päästään vain edellisellä menetelmällä, jossa vertailtavien koealojen vesitalous selvitetään myös ennen toimenpiteitä.

Tutkimuksessa on voitu todeta, että hakkuu aiheuttaa vesipinnan nousua. Tämä vaikutus on voimakkain avohakatuilla aloilla. Kasvukauden alussa ei vesipinnan syvyyden ero metsän ja aukon välillä ole suuri, mutta mitä pitemmälle kasvukausi kuluu, sitä selvemmin avohakatun koealan pohjavesi jää korkeammalle kuin metsässä. Syyspuolella kesää, jolloin pohjavesi on yleensä maksimisyvyydessään, ero metsän ja aukon vesipintojen syvyydessä todettiin olevan suurimmillaan. Avohakkuun aiheuttama vesipinnan nousu oli tällöin olosuhteista riippuen 20—40 cm. Vesivaraston lisäyksenä tämä merkitsee 40—60 mm. Myös talvella säilyy pohjavesi metsässä syvemmällä kuin aukossa, ero supistuu kuitenkin varsin pieneksi. Aukon saama suurempi lumimäärä lisää jälleen aukon vesivarastoa, mutta lumen sulamisen eriaikaisuus aukossa ja metsässä sekoittaa varhaiskevään vesitalouseroja.

Harvennushakkuiden vaikutus on samansuuntainen kuin avohakkuun. Voimakkaankin harvennuksen vaikutus on kuitenkin suhteellisen vähäinen, vasta ylivoimakkaat harvennukset, joissa jäävä metsä on raiskiometseen kaltainen, saavat aikaan lähes avohakkuun luokkaa olevan vaikutuksen.

Vaikka tutkimusmetsät poikkesivat toisistaan sekä puulajisuhteiden että kuutiomäärän ja rakenteen puolesta, eivät nämä puustolliset erot näyttäneet selittävän tutkimusmetsien tulosten kvantitatiivisia eroja. Tämä saattaa johtua tutkimusmetsien kuivatus- eli valuntaeroista, joita ei tässä työssä tutkittu. Näyttää kuitenkin olevan syytä korostaa, että koivuvaltaisten metsien avohakkuu ei ollut vaikutukseltaan voimakkaampi kuin mäntymetsienkään hakkuu.

Suurimmaksi syyksi hakkuun aiheuttamaan vesipinnan nousuun ja maan vesivaraston suurenemiseen todettiin latvuspidännän pieneneminen tai — avohakkuun kyseessä ollen — sen loppuminen. Kuivanakin kesänä tästä aiheutuva maahan tulevan sadannan lisääntyminen avohakatulla alueella oli kesä-elokuun aikana 53—85 % todetusta maan vesivaraston maksimilisäyksestä ja sateisena kesänä jopa suurempi kuin todettu vesivaraston suurin lisäys.

Haihdunta oli avohakatulla alueella keskimäärin jopa suurempi kuin metsässä, jos haihduntaa tarkastellaan ilman latvuspäntää. Tosin haihdunta metsästä saattoi olla suurempi aikana, jolloin vesipinta oli samalla korkeudella aukossa ja metsässä, mutta kun vesipinta on metsässä syvemmällä kuin aukossa ja kun vesipinnan syvyyden lisääntyminen pienentää haihduntaa voimakkaasti, jää metsästä tapahtuvan haihdunnan kokonaismäärä pienemmäksi kuin avohakatulta alueelta tapahtuvan haihdunnan.

Tässä työssä ei ole tutkittu valuntaa, jolla nimenomaan ojitetuilla soilla täytyy olla suuri merkitys kasvukauden kokonaisvesibilanssia ajatellen. Tässä yhteydessä voidaan vain todeta, että valunta on samalla ojustolla sitä suurempi mitä korkeammalla pohjavesi on. Näin ollen on ilmeistä, että hakkuualoilta — etenkin avohakkuualoilta — tapahtunut valunta on ollut suurempi kuin käsittelemättömästä metsästä. Tämä merkitsee sitä, että hakkuun vaikutus vesitalouteen on todellisuudessa vielä suurempi kuin mitä tämä tutkimus osoittaa.

### Päätelmiä

Saadut tulokset ovat pääkohdiltaan yhtäpitäviä niiden lukuisten metsähydrologisten tutkimusten kanssa, joita eri maissa on suoritettu. Metsän hydrologinen vaikutus näyttää tämän tutkimuksen valossa olevan myös Suomen ilmasto-oloissa erittäin suuri. Metsähydrologinen tutkimus meillä saa tuskin koskaan sellaista yleistä mielenkiintoa ja tärkeyttä kuin monilla tiheään asutuilla, enemmän tai vähemmän aridisilla alueilla, joilla metsänhoidonkin yhtenä päätehtävänä on käyttöveden tarpeen tyydyttäminen. Mutta toisaalta on metsän vaikutus yleishydrologiaan meillä erityisen painava jo yksistään sen takia, että meillä on metsällä ylivoimainen asema maamme luonnossa.

Erityisen kipeästi tarvitaan metsähydrologista tutkimusta käynnissä olevan valtavan metsäojitustoiminnan perusteiden ja hydrologisten seurausten selvittämiseksi. Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella on jo pääteltävissä, että metsän vaikutus ojitusalueilla on ojien aikaansaamaa kuivatusta korvaava. Voidaan perustellusti olettaa, että ojien kuivatusvaikutus osaksi korvautuu metsän omalla biologisella kuivatuksella sitä mukaa kun alue metsittyy tai alueella ollut puusto elpyy ja varttuu. Käytännössä tämä merkitsee, että vanhojen ojitusalueiden ojien kunnossapitäminen tarve ei ehkä ole niin suuri kuin on luultu. Edelleen tulokset puoltavat luonnontilaisen suon puuston kasvattamista uudistamisen asemasta, jotta puuston oma kuivattava vaikutus saadaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa käytetyksi hyväksi. Tätä ajatusta painotettiin voimakkaasti jo metsäojitustoiminnan alkuaikoina, nykyisin sen merkitystä ei ehkä ole riittävästi korostettu. Toisaalta on syytä todeta, että elinvoimainen taimisto on tässä mielessä tehokkaampi kuin vajaatuottoinen metsä. Myös sarka-

leveyden valintaan on metsän hydrologisella vaikutuksella oma osuutensa, kuten yleisesti on jo metsäojitustoiminnan alkuaajoista alkaen todettu.

Saadut tulokset antavat aiheetta kosketella myös vanhojen ojitusalueiden metsien loppuhakkuuseen liittyviä näkökohtia. Loppuhakkuu nostaa pohjavesipintaa voimakkaasti ja kun alueen ojat yleisesti tulevat kiertoajan lopussa olemaan joltisenkin huonossa kunnossa, on helposti seurauksena uudelleen soistuminen. Uuden puusukupolven aikaansaaminen vaatii ennen pitkää kuivatuksen uusimista, joka puolestaan tuo omat ongelmansa tulevaisuuden 6—8 milj. hehtaarin ojitusalueille.

Esitettyjen näkökohtien valossa on metsähydrologisten tutkimusten jatkaminen tärkeää. Erityisesti pitäisi voida selvittää eri puulajien, puuston kehitysvaiheiden ja harvennusasteiden hydrologisia eroja. Metsäojitusalueiden hoitoa varten voidaan näiden tutkimusten tavoitteeksi asettaa sellaiset metsät ja hoitotavat, jotka johtavat mahdollisimman suuren tuoton lisäksi mahdollisimman tehokkaaseen biologiseen kuivatukseen.



## Kirjallisuutta

- BAY, R. R., 1963. Research in watershed management relationships of bog lands. — Pres. at the 3rd Ann. Sem., Lake States Coun. of Ind. Forest., March 24—27, 1963, Eagle River, Wisconsin.
- »— 1966. Evaluation of an evapotranspirometer for peat bogs. — *Water Resour. Res.*, Vol. 2, No. 3, s. 437—441.
- »— and BOELTER, D. H., 1963. Soil moisture trends in thinned red pine stands in Northern Minnesota. — Research Note LS-29.
- BOELTER, D. H., 1966. Hydrologic characteristics of organic soils in Lakes States watersheds. — *Jour. of Soil and Water Conserv.*, Vol. 21, No. 2, s. 50—53.
- CHOW, V. T., 1964. Handbook of applied hydrology. — McGraw — Hill Book Company, New York, San Francisco, Toronto, London.
- VON DELFS, J., FRIEDRICH, W., KIESEKAMP, H. und WAGENHOFF, A., 1958. Der Einfluss des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflussvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag. Ergebnisse der ersten 5 Jahre der forstlich-hydrologischen Untersuchungen im Oberharz (1948—1953). — *Aus dem Walde*, H. 3/1958, Hannover, 223 s.
- DOUGLASS, J. E., 1966. Effects of species and arrangement of forests on evapotranspiration. — *Internat. Symp. on Forest. Hydrol.* Pergamon Press. s. 451—461.
- EBERMAYER, E., 1900. Einfluss der Wälder, auf die Bodenfeuchtigkeit, auf das Sickerwasser, auf das Grundwasser und auf die Ergiebigkeit der Quellen. — Stuttgart, 51 s.
- ENGLER, A., 1919. Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. — *Mitteil. d. Schweiz. Zentralanst. f.d. forstl. Versuchsw.* XII Band, 626 s.
- GRUDINSKAYA, I. T. and SHPAK, I. S. 1959. Effect of forest and forest strips on the moisture conditions of soils and ground water levels in the forest-steppe and steppe districts of the Ukraina. — *Intern. ass. of scient. hydr. symp. of Hannoversch-Münden*, Vol. 1. Gentbrugge 1959, s. 252—270.
- HAUDE, W., 1953. Abfluss, Grundwasserstand, Verdunstung einer fast ebenen, begrenzten landwirtschaftlichen Nutzfläche. — *Wasser und Boden*, H. 8, 1953, s. 255—262.
- HEIKURAINEN, L., 1963. On using ground water table fluctuations for measuring evapotranspiration. — *Acta Forest. Fenn.* 76. 5.
- »— 1966. Effect of cutting on the ground-water level on drained peat lands. — *Intern. Symp. on Forest Hydrol.*, Pergamon Press, s. 345—354.
- »— J. PÄIVÄNEN ja J. SARASTO, 1964. Ground water table and water content in peat soil. — *Acta Forest. Fenn.* 77. 1.
- HESSELMAN, H., 1917. Om skogsbeståndens roll vid moränlidernas försumpning. — *Skogsvårdsför. Tidskr.* 1917, Bil. 1. s. 29—50.
- HIBBERT, A. R., 1965. Forest treatment effects on water yield. — *Intern. Symp. on Forest Hydrol.*, Pergamon Press, s. 527—543.
- HOOVER, M. D., 1944. Effect of removal of forest vegetation upon water-yields. — *Transact. Amer. Geophys. Union. Papers. Hydrology.* 1944, s. 969—977.
- HUIKARI, O., 1959. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta. Referat: Über den Wasserhaushalt Waldentwässerten Torfböden. — *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 51. 2.
- HUIKARI, O., PAARLAHTI, K., PAAVILAINEN, E. ja RAVELA, H., 1966. Sarkaleveyden ja ojasyvyyden vaikutuksesta suon vesitalouteen ja valuntaan. Summary: On the effect of strip-width and ditch-depth on water economy and runoff on a peat soil. — *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 61. 8.
- IJJÁSZ, E. L., 1939. Grundwasser und Baumvegetation, unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der Ungarischen Tiefebene. — *Erdeszeti Kiséletek*, XLI EVFOLYAM 1939, Sopron, 1—4, SZÁM.
- KAITERA, P., 1936. Maataloushallituksen vesistötkimukset vuosina 1929—1935. — *Maataloushall. kulttuuritekn. tutk.* N. 1.
- KATSUMI, S., 1956. Variation of flow in the period before and after cutting at Kamikawa Experimental Forest (I). — Report of the Hokkaido Branch Government Forest Experiment Station, Special Report N. 5.
- LADEFOGED, K., 1956. Undersøgelser over træernes vandforbrug. — *Dansk skovforeningstidsskrift.* 10. h., s. 481—506.
- LUKKALA, O. J., 1942. Sateen mittauksista erilaisissa metsiköissä. Referat: Niederschlagsmessungen in verschiedenartigen Beständen. — *Acta Forest. Fenn.* 50.23.
- »— 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Referat: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder. — *Com. Inst. Forest. Fenn.* 34. 3.
- MEGINNIS, H. G., 1959. Increasing water yields by cutting forest vegetation. — *Internat. ass. of scient. hydrol. symp. of Hannoversch-Münden*, Vol. 1. Gentbrugge 1959, s. 59—68.
- MILLER, D. H., 1959. Transmission of insolation through pine forest canopy as it affects the melting of snow. — *Mitt. d. Schweiz. Anst. für das Forstl. Versuchsw.* Bd. 35, s. 57—79.
- MOLCHANOV, A. A., 1959. Regulation of hydrological regime by biological methods in areas undergoing swamping. — The increase of productivity of swamped forests. *Akademiya Nauk SSSR*. Translated from Russian, s. 47—56.
- »— 1963. The hydrological role of forests. — *Akademiya Nauk SSSR. Institut Lesa*. Translated from Russian. Oldbourne Press, London. 407 s.
- MUSTONEN, S. E., 1965 a. Meteorologisten ja aluetekijöiden vaikutuksesta valuntaan. Summary: Effects of meteorologic and basin characteristics on runoff. — *Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia*, 12.
- »— 1965 b. Runoff resulting from rainfall. — *Geophysica* 9:2, s. 99—117.
- MULTAMÄKI, S. E., 1936. Über den Grundwasserstand in versumpften Waldböden vor und nach der Entwässerung. — *V. Hydrolog. Konf. der Balt. Staaten. Finnland*, Juni 1936. *Mitteil.* 4 A.
- NIINIVAARA, K., 1953. Haihtumisesta pienehköillä vesistöalueilla Suomessa. — *Maa- ja vesitekn. tutk.* 7.
- OTOTSKIJ, P., 1898, 1899, 1900. Der Einfluss der Wälder auf das Grundwasser. — *Zeitschr. f. Gewässerkunde*.
- PENMAN, H., 1963. Vegetation and hydrology. — *Techn. Comm. No. 53 Comm. Bur. of Soils. C.A.B.*, 124 s. Farnham Royal, Bucks, England.
- PEREIRA, H., 1962. Hydrological effects of changes in land use in some East African catchment areas. (Compiled by H. Pereira.) — *East Afric. Agr. and Forest. Journ.* V. XXVII.
- PÄIVÄNEN, J., 1964. Menetelmä pohjavesikertoimen ja pintakasvillisuuden haihdunnan määrittämiseksi. — *Suo* N:o 6.
- »— 1966. Sateen jakaantuminen erilaisissa metsiköissä. Summary: The distribution of rainfall in different types of forest stands. — *Silva Fennica* 119. 3.
- RAUNER, JU. L., 1965. Hidrologičeskaja rol lesa. — *Izvestija Akademii Nauk SSSR, Serija geografičeskaja*, No. 4, s. 40—53.
- ROMANOV, V. V., 1956. Hydrophysical methods of calculating the water balance of bogs. — *Pochvovedenie*, No. 8, s. 49—56. Translated from Russian.

- SARTZ, R. S., 1963. Water yield and soil loss from soil-block lysimeters planted to small trees and other crops. — Lake States Forest Exp. St. U.S. Forest Serv., Res. Paper LS—6.
- SEPPÄNEN, M., 1964. Vesisateen jakaantumisesta männikössä. Summary: On the distribution of rainfall in the pinestands. — Acta Forest. Fenn. 76. 8.
- SIRÉN, G., 1955. The development of spruce forest on raw humus in Northern Finland and its ecology. — Acta Forest. Fenn. 62. 4.
- SONN, S., 1960. Der Einfluss des Waldes auf die Böden. — Veb Gustav Fischer Verlag Jena, 166 s.
- STONE, E. L., Jr., 1952. Evaporation in nature. — J. For. 50 s. 746—747.
- STÄLFELT, M.G., 1944. Granens vattenförbrukning och dess inverkan på vattenomsättningen i marken. — Kungl. Lantbruksakad. Tidskr. No. 6, s. 425—505.
- Suomen Kartasto — Atlas of Finland, 1960. — Suomen Maantieteellinen Seura. The Geographical Society of Finland. Otava, Helsinki.
- THORNTHWAITE, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. — Geog. Rev. 38, s. 85—94.
- THURMANN-MOE, P., 1941. Om skogens innflytelse på jordens vannförråd, med spesielle undersøkelser over dens drenerende revue. — Meld. f. Norg. landbrukshögsk. B. 21, V. XXI.
- TODD, D. K., 1959. Ground water hydrology. — John Wiley & Sons, Inc., Chapman & Hall, New York — London, 336 s.
- »— 1964. Groundwater. — Handbook of applied hydrology, Section 13, 1—55. McGraw — Hill Book Company, New York, San Francisco, Toronto, London.
- TROUSDELL, K. B. and HOOVER, M. D., 1955. A change in ground-water level after clearcutting of loblolly pine in the coastal plain. — Jour. of For., Vol. 53, No. 7, s. 493—498.
- WILDE, S. A., STEINBRENNER, E. C., PIERCE, R. S., DOSEN, R. C. and PRONIN, D. T., 1953. Influence of Forest Cover on the State of the Ground Water Table. — Soil Sci. Soc. Proc. 1953, s. 65—67.
- VIRTA, J., 1966. Measurement of evapotranspiration and computation of water budget in treeless peatlands in the natural state. — Comm. Physico-Mathem. Soc. Scient. Fenn., Vol. 32, No. 11, Hydrologisen Toimiston Tiedonantoja XXV.
- WÄRE, M., 1947. Maan vesisuhteista ja viljelyskasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina 1939—1944. Referat: Über die Wasserhältnisse des Bodens und die Erträge von Kulturpflanzen auf dem wasserwirtschaftlichen Versuchsfeld Maasoja in den Jahren 1939—1944. — 240 s. Helsinki.
- YLI-VAKKURI, P., 1960. Metsiköiden routa- ja lumisuhteista. Summary: Snow and frozen soil conditions in the forest. — Acta Forest. Fenn. 71. 5.
- ZAHNER, R., 1955. Soil water depletion by pine and hardwood stands during a dry season. — Forest Science, Vol. 1, No. 4, s. 258—264.
- »— 1958. Hardwood understory depletes soil water in pine stands. — Forest Science, Vol. 4, No. 3, s. 178—184.

## SUMMARY:

## ON THE INFLUENCE OF CUTTING ON THE WATER ECONOMY OF DRAINED PEAT LANDS

## Introduction

The present study is a part of a larger series of investigations concerning the water economy of peat lands which is being conducted by the Department of Peatland Forestry, Helsinki University. Some preliminary results of this research activity have already been published; this applies also to the preliminary results of the present work (cf. HEIKURAINEN, 1966).

In Finland, the influence of a forest cover on the soil hydrology has been studied to a small extent only. Actually, only the distribution of the rainfall in tree stands of different kinds has been studied in a more detailed way (LUKKALA, 1942 and 1946, SIRÉN, 1955, SEPPÄNEN, 1964, and PÄIVÄNEN, 1966). In several otherwise quite creditable hydrological investigations, the influence of the forest has been completely disregarded or dealt with only as a problem of secondary importance (e.g., MUSTONEN, 1965 a and 1965 b, HUIKARI, 1959, and HUIKARI *et al.*, 1966).

The influence of cuttings on the water economy of peat lands drained for forestry purposes has been studied in particular by LUKKALA (1946), who attempted to solve the question of natural regeneration on drained swamps, and the Norwegian, THURMANN-MOE (1941) who, however, was satisfied with measuring the influence of cuttings on the depth of the ground water table only. The investigations presented here were also of a tentative nature only; consequently, we must admit that rather little is known at present concerning the influence of cuttings of different nature on the water economy of drained peatlands. As the water economy of such areas is unstable and can be kept favourable for tree growth only by drainage and as the area of such sites in our country is already 2.5 mill. hectares and by 1980 will cover 6—7 mill. hectares according to national planning programs, knowledge of the influence of cuttings on the hydrology of such areas is of the greatest importance. The aim of the present study is to give new information of this kind as well as a general view of our knowledge of forest hydrology under the climatic conditions prevailing in Finland.

### Study areas and methods used

The investigation was conducted in Central Finland (61°50' N, 24°20' E). The altitude of the study areas varied between 135 and 155 metres above sea level. The annual mean temperature in the region in question is +3°C and the mean temperature of the month of July, +17°C. The annual rainfall is about 600 mm. and that of the summer months (June—September), about 300 mm. The evaporation is about 300 mm. annually.

In all, measurements were carried out in seven experimental stands, each of which held 3—6 sample plots. As to the method of investigation employed, the experimental stands were divided into two categories: the principal and the side materials. In the stands of the principal material, the depth of the ground water table was measured during two growing seasons prior to cutting. After this period of calibration, the sample plot series in the stands under study were usually treated in the following way: one sample plot was cut clear and one thinned while the third was left without treatment as a control plot. Except for in one case, two sample plot series treated in this way were established in the stands of investigation. In the cuttings, the stem wood was removed from the forest, but the slash was left on the place. After the cutting, the depth of the water table was again measured during two growing seasons. In addition, the distribution of the rainfall, the evaporation, and the thickness of the snow cover were measured on the sample plots of the principal material. The results concerning the distribution of the rainfall have already been published (PÄIVÄNEN, 1966) and the method used at the measurement of the evaporation has also been presented earlier (HEIKURAINEN, 1963).

In the stands of investigation of the side material, sample plot series had already been established for other purposes when the measurements for the present study were started. In these series, previously similar forests had been cut in different ways. Thus, measuring was started only after these cuttings had been done, in consequence of which, the investigation forms a comparison of the depth of the ground water table on sample plots treated in different ways.

Fig. 1 and Table 1 present detailed data on the stands of investigation of the principal material. Corresponding information on the side material is given in Fig. 2 and Table 2. The ideal case would naturally be such that the sample plots of the various stands of investigation should be similar. However, the homogeneity of the sample plots in the stands of the principal material leave room for improvement both with regard to drainage and growing stock. Likewise, the homogeneity of the stands of the side material very likely involves weaknesses, even if they are not known for the part of the growing stock, since it was not measured before the treatment.

### The changes in the depth of the ground water table and the water supplies of the soil at the sample plots of the principal material

Figs. 3—6 present the depth of the ground water table at all sample plots during the growing seasons covered by the study. The measurements carried out during the first two growing seasons (1962 and 1963) thus indicate the situation prior to the cuttings and the measurements of the growing seasons of 1964 and 1965, the depth of the ground water table after cutting.

The graphs reveal that the ground water table has risen to a considerable extent after cutting, especially this is so at the clear-cut sample plots. In sample plot series where the ground water table before cutting has been at the same depth both at the sample plot to be treated with clear-cutting and the control plot, it has been located considerably higher at the first-mentioned plot after cutting. Even in those cases when the ground water table at sample plots to be clear-cut has been located lower before cutting than at the control plots, the water table has reached a clearly higher level after cutting. The influence of thinnings on the depth of the ground water table is of a similar nature, but much weaker in appearance.

Measurements carried out in the winter imply that the differences caused by cutting are of a similar kind in wintertime as during the growing season, even if they are smaller. In early spring, the differences get very small and the situation may even be the reverse of that of other seasons. This circumstance is due to the fact that the melting of the snow takes place at different times in the forest and openings.

Figs. 7—13 present a comparison between the depth of the ground water table at sample plots treated with cuttings and the controls before and after the cuttings were performed. The depth of the ground water table at the control or the united control plots is indicated on the horizontal axis and that of the sample plot treated with cutting, on the vertical axis. As can be seen from the figures, there are usually two separate clusters of dots in the graphs, one of which includes values obtained prior to cutting and the other, values obtained after treatment. The former was fitted to a straight line on an analytical way; the latter, on the other hand, was fitted by hand using analytical fitting as an aid. The difference between the fitted lines indicates the influence of the cutting on the depth of the ground water table. Now, we can establish that the difference is the greater the deeper located the ground water table as well as that the ground water table rises 20—40 cm. due to cutting at sample plots treated with clear-cutting. The influence of thinnings seems to be weak, even if clearly discernible.

The rise of the ground water table was converted into the change in the water supplies of the soil by means of conversion coefficients obtained on the basis of lysimeter experiments. The determination of the conversion coefficient has been

described previously (HEIKURAINEN, 1963, PÄIVÄNEN, 1964). In principle, the coefficient is the same which has been used in several previous investigations (e.g., HAUDE, 1954, BAY, 1963 and 1966). It has also been termed »storage coefficient» (e.g., TODD, 1964, p. 4).

The conversion coefficients are presented in the text table on p. 24. Table 3 presents the increase in the water supplies of the soil due to cutting when the depth of the ground water table at the control plots changes. The table shows also the largest increase observed in the water supplies during the period of measuring. Furthermore, it presents, for the purpose of indicating the intensity of the cutting, the volume of timber cut and that remaining after the cutting operation.

On the basis of the data presented in Table 3, we can state that the maximum increase in the water supplies has been 30—60 mm. in areas treated with clear-cutting. The increase in the water supplies caused by thinnings has been small, usually only of a magnitude of about 10 mm. in spite of the fact that even more than one half of the growing stock has been removed in some cases.

#### The changes in interception and evapotranspiration caused by cutting

In 1964 and 1965, the interception of the rainfall in the canopy was measured in all the stands of investigation included in the principal material. The method of measurement as well as some results have already been published (PÄIVÄNEN, 1966). In the following context, the data obtained on the interception are compared with the maximum increase in the water supplies which was dealt with in the preceding section. In this comparison, the data from the growing season of 1964 and that of 1965 are dealt with separately. The former was relatively dry, the quantity of rainfall from June through August being 144 mm. in the study area, whereas the latter was rather wet, the corresponding rainfall being 180 mm.

|                |      | Maximum increase<br>in the water<br>supplies, mm | Interception<br>in total,<br>mm | Interception<br>in pct of the maximum<br>increase in the water<br>supplies |
|----------------|------|--|---------------------------------|--|
| Loukaskorpi,   | 1964 | 66   | 35                              | 53   |
| Karvianneva,   | »    | 46   | 37                              | 80   |
| Lakuneva,      | »    | 43   | 29                              | 67   |
| Metsäsaramäki, | »    | 59   | 50                              | 85   |
| Loukaskorpi,   | 1965 | 45   | 47                              | 104  |
| Karvianneva,   | »    | 38   | 48                              | 126  |
| Lakuneva,      | »    | 36   | 38                              | 106  |

On the basis of the table, we can observe that the interception in the dry summer (1964) ranged from 35 to 85 per cent of the maximum increase in the water supplies. In the wet summer (1965), on the other hand, the magnitude of the interception was even greater than the maximum increase in the water supp-

lies during the same summer period. Thus, the increase in the water supplies on the sample plots treated with clear-cutting is explained to a great part through the increase in the rainfall reaching the ground, which is caused by the clear-cutting and corresponds to the interception in magnitude. During a dry summer the increase in the water supplies is slightly greater than the loss of interception, but in a wet summer the increase in the quantity of rainfall reaching the ground may be even greater than that in the water supplies.

Fig. 14 shows some examples of the rising of the ground water table caused by rains as well as its diurnal lowering due to evapotranspiration. The figure shows the situation both at the clear-cut and the control sample plots. The rising of the water table due to rain is greater in the clear-cut sample plot than in the control, where interception diminishes the quantity of rain water which falls to the ground. The diurnal lowering of the ground water table due to evapotranspiration, too, seems to differ in a certain way at the clear-cut and the forest-covered sample plots. Table 4 gives a more detailed picture of the matter in question; it shows a comparison between data on the evapotranspiration in the forest (the control plot) and in the open, which were obtained using a method based on the diurnal lowering of the ground water table. For the sake of explanation it ought to be mentioned that the Loukaskorpi material of 1965 includes measurements on the evapotranspiration on 24 days, the material obtained from Karvianneva in 1966, on 25 days in total, and the Lakuneva material of 1965, on the other hand, measurements on 30 days. Each of these materials of measurement was divided into three groups on the basis of the differences between the water tables on the sample plots to be compared. Within group I, the difference was smallest and in group III greatest; this means that group I includes cases in which the ground water table at the sample plots to be compared was located at nearly the same depth, i.e., in which the water table was located only slightly deeper in the forest than in the open. In group III, the ground water table was located much deeper in the forest than in the open. The former situation has usually been prevailing during periods when the water table has been located at a high level and the latter during periods when the ground water table has been located deep in the soil.

Table 4 reveals that the evapotranspiration from the soil may be greater in the forest than in the open when the water table is located at the same level; however, when the depth of the water table increases more in the forest than in the open, evapotranspiration is greater in the latter. As the water during the growing season usually is located deeper in the forest than in the open, the contrary being exceptional, evapotranspiration in the growing season is probably greater from openings than from the forest.

Thus, it seems that the changes in the evapotranspiration due to cutting first cause differences in the water economy between clear-cut and forest-covered areas, but also that the differences grow smaller later on.



#### The results obtained from the side material

The side material (cf. Fig. 2 and Table 2) consists of measurements carried out during tree growing seasons already before the initiation of the measurements on the sample plots treated with different cuttings. The stock growing on the sample plots in the different stands of investigation has evidently been of quite a similar nature before treatment.

Figs 15—20 present the results obtained. As a general feature it can be established that the water table without exceptions has been located clearly higher at the treated sample plots than at the controls in the cases when the tree stand on the former has been considerably smaller than on the latter. This was so at sample plot 3 at Kalliojärvi, on which a stand of small spruce seedlings only was left from the original mixed stand of spruce, birch, and pine. The situation was similar at sample plot 7 at Nuijakorpi, where a stand (58 cu.m./ha.) of the nature of a cull-tree stand remained after cutting in a former spruce-dominated stand of about 150 cu.m./ha. At sample plot 15 at Loukaskorpi, too, where a shelter of relatively large-sized birches was removed and only a seedling stand of spruce was left growing, this was also the situation. On the other hand, no clear differences in the water table occurred after cutting in stands with smaller differences in the stock growing on the treated sample plot and that of the control. Due to the extensiveness of the method of investigation employed, however, small differences do not get discernible.

#### Compilation of the results and some conclusions

The present investigation revealed, in accordance with investigations carried out in several countries, that the influence of a forest cover on the water economy of the soil is very great in Finland, too. Cutting of the forest gives cause to a rise of the ground water table, which, when clear-cutting is in question, reaches a magnitude of 20—40 cm. In terms of the increase in the water supplies of the soil, this means 40—60 mm. In the winter, too, the ground water remains at a lower level in the forest than in openings; however, the difference is rather small. The influence of thinnings goes in the same direction as that of clear-cutting. However, the influence of even heavy thinnings is relatively small.

The most important reason for the increase in the water supplies of the soil after cutting is the decrease in the interception in the canopy or its termination. When the water table is at the same level in the forest and in openings, evapotranspiration (interception excluded,) might be greater in the forest than in openings; however, when it is located at a considerably lower level in the forest than in the opening during the growing season, the evapotranspiration taking place in the forest is strongly decreased, which means that more water is evaporated and transpired from the opening than from the forest. Because the water

table has been located at a higher level in the opening than in the forest, runoff from clear-cut areas has exceeded that from the forest. The runoff was not measured in connection with the present work. The foregoing means that the influence of cutting on the water economy of the soil is actually still greater than indicated by the present work.

The results obtained mean that the influence of the forest cover makes up for that of drainage. Thus, the need for maintenance of the ditches might not be so great as has been generally assumed. On the other hand, it can be observed that the final cutting to be done will rise the ground water strongly. Thus, creation of another tree generation will require repeated drainage.