

ACTA FORESTALIA FENNICA

Vol. 113, 1971

Pohjavesipinta ja sen mittaaminen ojitetuilla soilla

*Ground water table in drained peat soils and
its measurement*

Leo Heikurainen



SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat

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

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

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

Publications of the Society of Forestry in Finland

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

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

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions, and exchange inquiries can be addressed to the office: Unioninkatu 40 B, Helsinki 17, Finland.

ALKUSANAT

POHJAVESIPINTA JA SEN MITTAAMINEN OJITETUILLA SOILLA

GROUND WATER TABLE IN DRAINED PEAT SOILS AND ITS MEASUREMENT

LEO HEIKURAINEN

SISÄLLYS

1. Johdanto	1
2. Pohjavesipinnan teoria ja käsitteet	1
3. Pohjan aikavälit	2
31. Krasnoyarskin aikaväli	3
32. Pohjavesipinnan syvyyden kartoitus	7
4. Lohjan aikavälit	8
41. Pohjavesipinnan päivittäiset vaihtelut	8
42. Vuorokauden aikavälin kartoitus	11
43. Sateen aiheittama nousu	13
5. Mittausmenetelmät	15
51. Kaivon lämpötilan vaihtelu	15
52. Mittausvälineet ja rakenteet	16
6. Yhteistelmä	17
Kirjallisuutta	18
Sääntö	20

POHJAVEISPIINTA JA SEN MITTAAMINEN
OJITETULLA SOILLA

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisu sarjat

ACTA FORESTALIA FINNICA. Perustetaan tutkimusten ja tutkimusten perusteella laadittujen tutkimusraporttien julkaisua varten. Järjestö epäedustavasti valitsee kullekin kaksitoista tutkimusta.

SILVA FINNICA. Sisältää esopöytä Suomen metsätaloutta ja sen perusteella laadittuja tutkimuksia ja tutkimusraportteja. Järjestö epäedustavasti valitsee kullekin kaksitoista tutkimusta.

LEO HEIKURAINEN

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

Publications of the Society of Forestry in Finland

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

SILVA FINNICA. Contains essays and short investigations mainly on Finnish forestry and its foundations. Published two times annually. Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions, and exchange inquiries can be addressed to the office: Unioninkatu 40 B, Helsinki 17, Finland.

ALKUSANAT

Noin kymmenen vuoden ajan olen tutkinut lähinnä metsänkasvua varten ojitettujen turvemaiden vesioloja. Näissä töissä on pohjavesipinnan havaitseminen ollut keskeisellä sijalla. Valitettavasti kirjoittajalle on käynyt kuten monille muillekin tämän alan tutkijalle. Pohjavesipinnan havainnoimista ja mittaamista on pidetty itsestään selvänä menetelmänä joidenkin vesioloja koskevien ongelmien selvittämisessä. Vasta työn aikana on selvinnyt, ettei pohjavesipinta olekaan yksiselitteinen käsite, vaan suuressa määrin vielä tutkittava ongelma sellaisenaan.

Käsillä oleva julkaisu ei edellä esitetyistä syistä johtuen ole systemaattisiin metoditutkimuksiin perustuva. Vesioloja, kuten opti-

mikuivatuksen ongelmaa, metsien haihduntaa, toimenpiteitten vaikutusta vesioloihin jne. tutkittaessa on noussut esiin pohjavesipintaa ja sen mittaamista koskevia ongelmia, joita on pyritty ratkomaan enemmän tai vähemmän muiden tutkimusten ohella. Näistä hajanaisista tutkimuksista ja pitkäaikaisessa työssä saaduista kokemuksista on syntynyt eräitä tuloksia ja ajatuksia, jotka täten haluan saattaa samojen ongelmien kanssa työskentelevien tietoon.

Mieluisa velvollisuuteni on kiittää kaikkia työtovereitani sekä töitteni rahoittajia. Helsingissä, huhtikuussa 1970

Leo Heikurainen

SISÄLLYS

1. Johdanto	4
2. Pohjavesipinnan teoriaa ja käsitteitä	4
3. Pitkän aikavälin vaihtelut	5
31. Kronologinen esitystapa	5
32. Pohjavesipinnan syvyyden kesto	7
4. Lyhyen aikavälin vaihtelut	8
41. Pohjavesipinnan päivittäiset vaihtelut	8
42. Valunnan aiheuttama lasku	11
43. Sateen aiheuttama nousu	13
5. Mittaustekniikka	15
51. Kaivon läpimitan vaikutus	15
52. Mittaustavoitteita ja ratkaisuja	16
6. Yhdistelmä	18
Kirjallisuutta	18
Summary	20

Kuva 1. Pohjavesipinnan syvyys erällä Loosella mittausasemalla vuosien 1965 - 1967 ja 1968 - 1969.

Fig. 1. Depth of the ground water in certain points during the periods 1965 - 67 and 1968 - 1969.

1. JOHDANTO

Ojitettuja turvemaita on Suomessa vuoden 1970 lopussa lähes 4 miljoonaa hehtaaria. Pääosa näistä on kuivattu metsänkasvatusta varten ja vuosittain ojitetaan n. 300.000 ha lisää. Näillä alueilla pohjavesi säilyy kasvukaudenkin aikana varsin korkealla. Täten sitä on helppo havaita ja tutkia. Lukuisia ovatkin ne tutkimukset, joissa pohjavesipinnan mittaaminen on tavalla tai toisella kuulunut tutkimukseen (esim. MULTAMÄKI 1936,

JUUSELA 1945, LUKKALA 1946, WÄRE 1947, HUIKARI 1959 a, 1959 b, HEIKURAINEN 1963, HEIKURAINEN et al. 1964, PAAVILAINEN 1963, PÄIVÄNEN 1968 a).

Edellä viitatuissa töissä on kuitenkin varsin vähän kiinnitetty huomiota pohjavesipinnan ilmiöihin sellaisenaan. Nekin tutkimukset, joissa pohjavesipinnan käyttäytymisiin on puututtu, ovat koskeneet yleensä kivennäismaita.

2. POHJAVESIPINNAN TEORIAA JA KÄSITTEITÄ

Yleensä pohjavesipinta määritellään siksi vesipinnaksi, joka syntyy tarpeeksi pitkän ajan kuluessa, kun maahan tehdään reikä. Reiän tulee kuitenkin olla niin suuri, etteivät kapillaariset voimat vaikuta siihen syntyvään vesipintaan. Tällaista reikää nimitetään pohjavesikaivoksi. TODD (1966) jakaa pohjavesiä koskevassa käsikirjassaan pohjavedet suljetun tilan ja vapaan tilan pohjavesiin, jotka käyttäytymiseltään poikkeavat paljon toisistaan. Nyt tarkasteltavat tapaukset ovat viimemainittuja.

Maaveden energiasuhteiden mukaan esitettynä pohjavesipinta on vapaan tilan vesien kyseessä ollen se taso, jossa maaveden jännitys on yhtä kuin nolla (esim. BURKE 1961).

Jos vettä läpäisemättömien maakerrosten alla on läpäiseviä maakerroksia, saattaa muodostua kaksi pohjavesikerrosta, toinen pinnalle toinen syvemmälle. Edellistä on joskus

kutsuttu orsivedeksi. Suomen olosuhteissa tämäntapaiset pohjavesisuhteet lienevät harvinaisia. Tapauksissa, jolloin suo esiintyy paksujen sora- tai hiekkakerrosten päällä, tällainen lienee tavallista (esim. BAY 1967). Tässä yhteydessä tarkastellaan yksinomaan yksikerroksisia pohjavesisysteemejä.

Pohjavesipinnan syvyydellä ymmärretään maanpinnan ja pohjavesipinnan välistä etäisyyttä. Voidaan myös puhua pohjavesipinnan korkeudesta, jolloin mittausta on sidottu liikkumattomaan kiintopisteeseen esim. kallioon. Johtuen siitä, että suon pinta liikkuu monien tekijöiden vaikutuksesta (vrt. esim. BADEN und EGGELSMAN 1964) pohjavesipinnan syvyys ja pohjavesipinnan korkeus eivät ole rinnakkaisia käsitteitä. Tässä työssä tarkastellaan lähinnä pohjavesipinnan syvyyttä.

3. PITKÄN AIKAVÄLIN VAIHTELUT

Monissa tutkimuksissa on todettu, että Suomen olosuhteissa pohjavesipinnan suurin syvyys on yleensä keväällä maaliskuuhuhtikuun vaihteessa ja toinen maksimi syyskesällä, yleensä elokuussa. Pohjavesipinnan pienin syvyys saavutetaan tavallisesti keväällä lumen sulamisen jälkeen, joka sattuu etelä- ja keski-Suomessa huhti- ja toukokuun vaihteessa. Toinen, yleensä kuitenkin pienempi minimi on syysateiden aikana, lokamarraskuussa (vrt. JOHANSSON och SOVERI 1965).

31. Kronologinen esitystapa

Tavallisin tapa esitellä pohjavesipinnan vaihteluita on esittää pohjavesipinnan syvyys aikasarjana. Kuvassa 1 nähdään muutamilla suhteellisen tehokkaasti kuivatuilla koealoilla pohjavesipinnan syvyys kausina 1966–67 ja 1968–69. Mittaukset on tehty puolen senttimetrin tarkkuudella pohjavesikaivoista, joiden rakenne on esitetty toisessa yhteydessä (HEIKURAINEN and PÄIVÄNEN 1970). Kuvasta nähdään, että syyskesän maksimi on yleensä suurempi kuin keväätalven maksimi. Edelleen voidaan todeta, että lumensulamiskau-

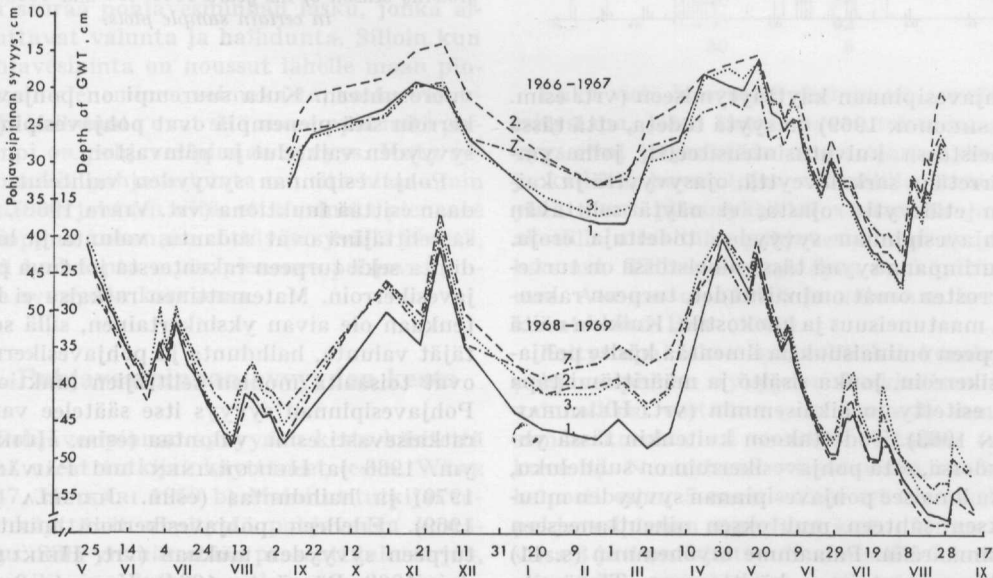
den minimi on yleensä selvempi kuin syksyn minimi, joka sekkin saattaa olla huippuina samaa luokkaa, mutta jää yleensä lyhytaikaiseksi.

Kuvasta 2 nähdään pohjavesipinnan korkeus eräillä koealoilla kesinä 1963, 1964, 1965 sekä kesinä 1968 ja 1969. Pohjavesipinnan syvyys on saatu itsepiirtävistä mittareista, joista on otettu kutakin päivää edustamaan kello 12 arvo.

Kuvasta voimme todeta, että pohjavesipinnan vaihtelut ovat sangen erilaisia eri koealoilla. Kuivatuksen erot ovat tietysti eräs syy näihin eroihin, mutta kuten seuraavasta asetelmasta nähdään, eivät kuivatuksen erot ole kovin suuria eivätkä ainakaan kokonaan selitä pohjavesipinnan syvyyden eroja.

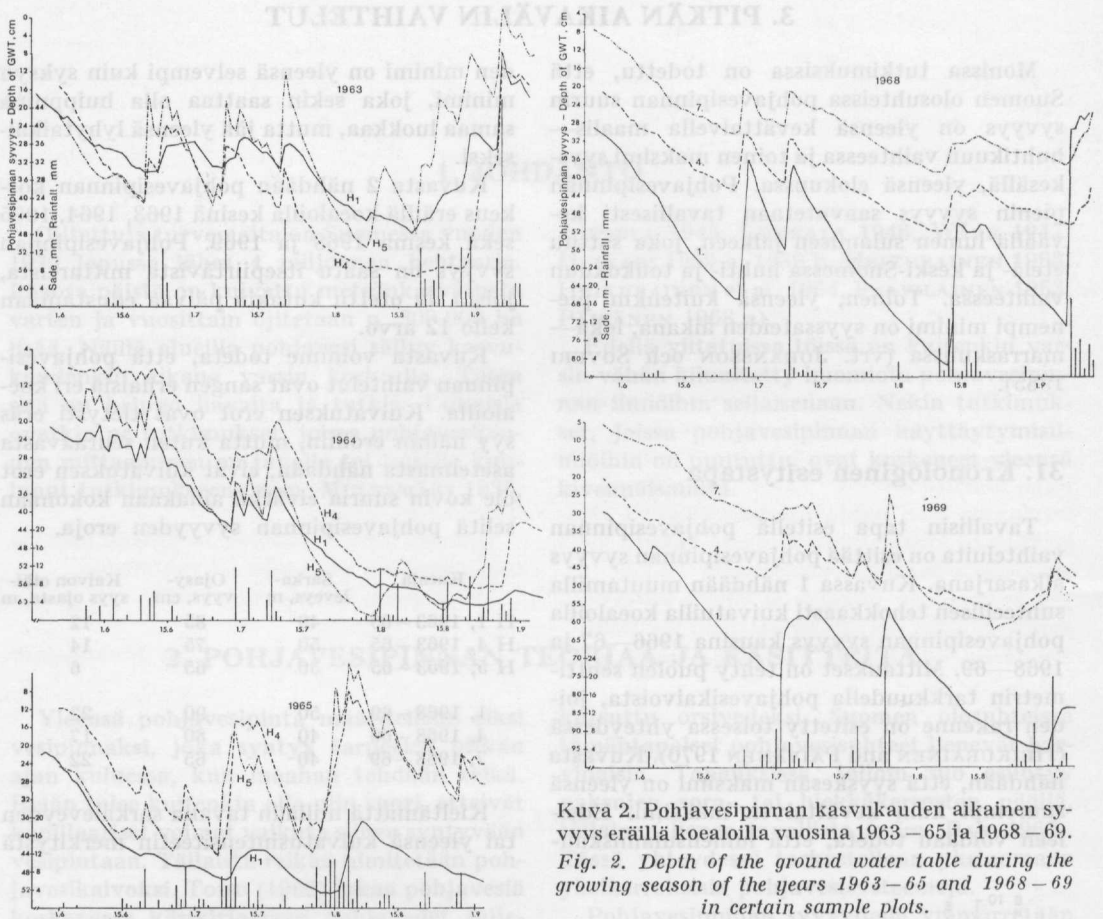
Koeala	Sarkaleveys, m	Ojasyvyys, cm	Kaivon etäisyys ojasta, m
H 1, 1963–65	40	85	12
H 4, 1963–65	50	75	14
H 5, 1963–65	30	65	6
1, 1968–69	50	90	22
4, 1968–69	40	80	17
7, 1968–69	40	65	22

Kieltämättä millään tavalla sarkaleveyden tai yleensä kuivatusintensiteetin merkitystä



Kuva 1. Pohjavesipinnan syvyys eräillä koealoilla mittausjaksoina 1966–1967 ja 1968–1969.

Fig. 1. Depth of the ground water table in certain sample plots during the periods 1966–67 and 1968–1969.

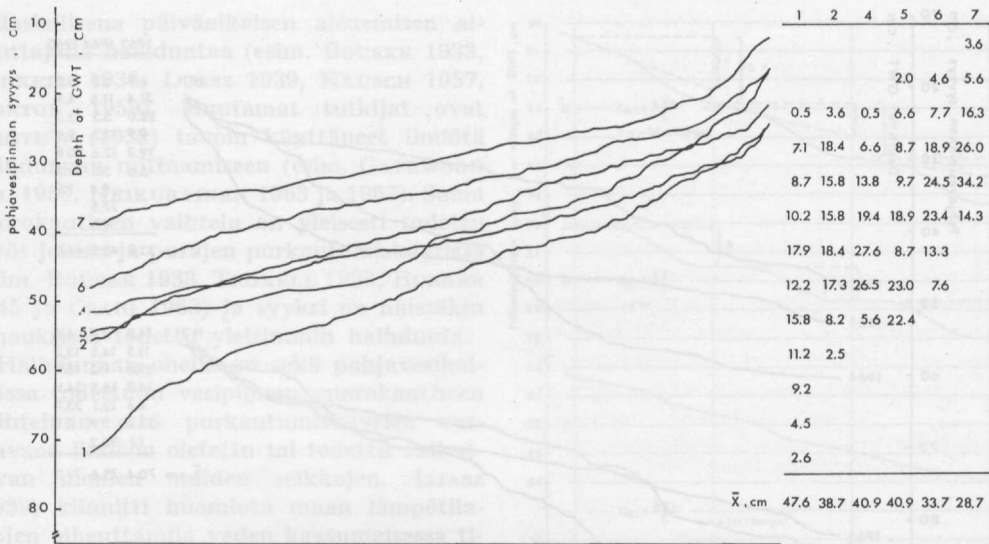


Kuva 2. Pohjavesipinnan kasvukauden aikainen syvyys erällä koealoilla vuosina 1963–65 ja 1968–69.
 Fig. 2. Depth of the ground water table during the growing season of the years 1963–65 and 1968–69 in certain sample plots.

pohjavesipinnan käyttäytymiseen (vrt. esim. МЕСНЕЧОК 1969) on syytä todeta, että tässä aineistossa kuivatusintensiteetti, jolla ymmärretään sarkaleveyttä, ojasyyvyttä ja kairon etäisyyttä ojasta, ei näytä selittävän pohjavesipinnan syvyyden todettuja eroja. Suurimpana syynä tässä aineistossa on turvekerrosten omat ominaisuudet, turpeen rakenne, maatuneisuus ja huokostila. Kaikkia näitä turpeen ominaisuuksia ilmentää käsite pohjavesikerroin, jonka sisältö ja määrittämistapa on esitetty jo aikaisemmin (vrt. HEIKURAINEN 1963). Todettakoon kuitenkin tässä yhteydessä, että pohjavesikerroin on suhdeluku, joka ilmaisee pohjavesipinnan syvyyden muutoksen suhteen muutoksen aiheuttaneeseen vesimäärään. Palaamme myöhemmin (s. 11) pohjavesikertoimen käsitteeseen. Tässä yhteydessä toteamme vain pohjavesikertoimen ja pohjavesipinnan syvyyden välisen yleisen

vuorosuhteen. Kuta suurempi on pohjavesikerroin sitä pienempi ovat pohjavesipinnan syvyyden vaihtelut ja päinvastoin.

Pohjavesipinnan syvyyden vaihtelut voidaan esittää funktiona (vrt. VIRTÄ 1966), jossa selittäjinä ovat sadanta, valunta ja haihdunta sekä turpeen rakenteesta johtuva pohjavesikerroin. Matemaattinen ratkaisu ei kuitenkaan ole aivan yksinkertainen, sillä selittäjät valunta, haihdunta ja pohjavesikerroin ovat toisaalta monien selittäjien funktioita. Pohjavesipinnan syvyys itse säätelee varsin ratkaisevasti esim. valuntaa (esim. HUIKARI ym. 1966 ja HEIKURAINEN and PÄIVÄNEN 1970) ja haihduntaa (esim. JUUSELA ym. 1969). Edelleen pohjavesikerroin muuttuu turpeen syvyyden mukaan (vrt. HEIKURAINEN 1963, PÄIVÄNEN 1964). Kuvasta 2 voidaan kuitenkin todeta, että sateella on ratkaiseva osuus pohjavesipinnan syvyydessä.



Kuva 3. Pohjavesipinnan syvyyden kesto eräillä koealoilla.

Fig. 3. Duration of the depth of the ground water table in certain sample plots.

Verbaalisesti pohjavesipinnan pitkäaikaisia vaihteluja voidaan kuvata seuraavasti: Sateen sattuessa pohjavesipinta nousee. Nousun määrä riippuu ennen kaikkea sateen määrästä, mutta rakenteeltaan erilaisissa turpeissa nousu on erilainen, tätä erilaisuutta kuvaa pohjavesikerroin. Sateen jälkeistä nousua seuraa pohjavesipinnan lasku, jonka aiheuttavat valunta ja haihdunta. Silloin kun pohjavesipinta on noussut lähelle maan pintaa, on aleneminen voimakasta, koska valunta ja haihdunta ovat sitä suurempia mitä pienempi on pohjavesipinnan syvyys. Kuta syvemmällä pohjavesipinta on, sitä hitaammin se alenee johtuen siitä, että valunta pienenee ja loppuu kokonaan riittävän syvällä ja siitä, että haihdunta myös pienenee pohjavesipinnan syvyyden kasvaessa.

32. Pohjavesipinnan syvyyden kesto

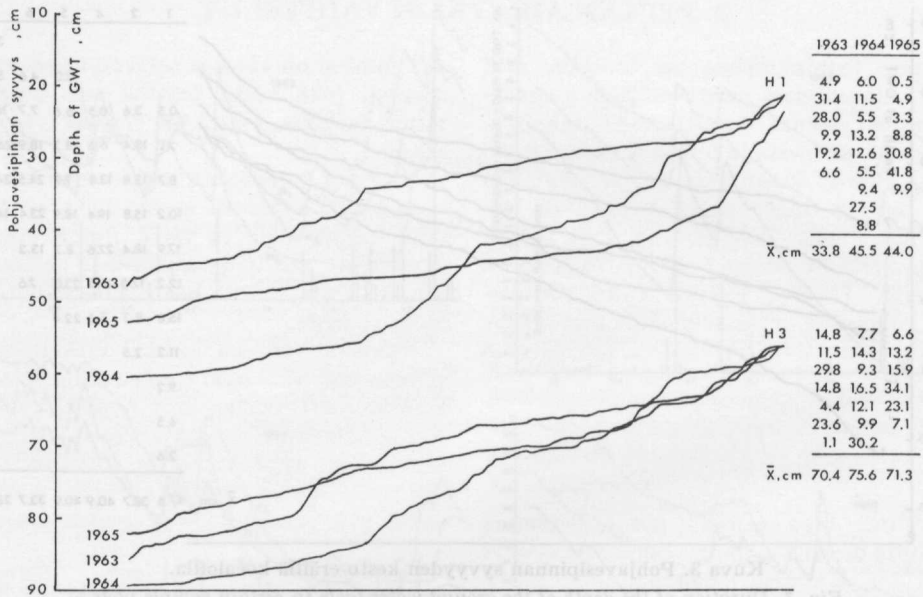
Pohjavesipinnan syvyyden kesto-käsitettä ovat useat tutkijat käyttäneet (esim. WÄRE 1947, HUIKARI 1959 b) Mainitut tutkijat tosin käyttävät nimitystä pohjaveden kestävyys. Sillä ymmärretään prosenttilukusarjaa, joka ilmaisee kuinka pitkän ajan vesipinta on pysytellyt tiettyjen syvyysrajojen alapuolella tai yleisemmin tietyissä syvyysrajoissa.

Seuraavassa asetelmassa nähdään esimerkki tästä esitystavasta (HUIKARI em.t.).

Pohjaveden syvyys, cm	Kestävyys, %
0-10	—
0-20	8
0-30	31
0-40	88
0-50	92
50	8

Ehkä vielä informatiivisempi on graafinen esitystapa, jossa tietyn havaintokauden syvyysarvot järjestetään suuruusjärjestykseen ja kullekin havaintojen aikavälille varataan yhtä suuri pituusyksikkö x-akselilta ja y-akselille merkitään pohjavesipinnan syvyyslukemat. Tällaista esitystapaa on käyttänyt mm. ANDERSSON (1970) ja valunnan kestoä kuvatessaan BAY (1969).

Esitystapa tekee mahdolliseksi koealojen pohjavesipinnan syvyyden keskinäisen havainnollisen vertailun (vrt. kuva 3) samoin saman koealan eri vuosien vertailun (vrt. kuva 4). Numerisena esitystavasta saadaan helposti esim. 5 cm:n välein eri tapauksissa pohjavesipinnan syvyyden kesto, kuten kuvissa 3 ja 4 on esitetty. Kumulatiivisina summina lukuarvot ilmaisevat tiettyjen syvyysrajojen alapuoliset tai yläpuoliset kestot riippuen siitä, aloitetaanko summaaminen al-



Kuva 4. Pohjavesipinnan syvyyden kesto eri vuosina.

Fig. 4. Duration of the ground water table in various years.

haalta ylöspäin tai päinvastoin. Myös keskiarvon laskenta on helppoa laskemalla kesto-prosentilla punnitut syvyysjaksojen keskiarvot.

Kuvan 3 perusteella voimme todeta keskimääräisten pohjavesipinnan syvyyksien lisäksi mm., että koealalla 5 pohjavesipinnan syvyys on ollut äärevin ja koealalla 7 vähiten äärevä ja samalla myös pienin. Edelleen kuvasta 4 voimme päätellä, että vuonna 1964 on pohjavesipinnan syvyys ollut selvästi äärevin ja v. 1963 vähiten äärevä. Sellaisenaan on mielenkiintoinen havainto se, että eri kasvukausina pohjavesipinnan syvyyden erot saattavat jollakin koealalla poiketa varsin

paljon toisistaan, kun taas toisella koealalla erot samoina vuosina jäävät suhteellisen vähäisiksi kuten esim. koealalla 3 (vrt. kuva 4).

Pohjavesipinnan syvyyden keston esittäminen edellyttää määrätyn aikavälein suoritettavaa vesipinnan mittaamista. Esimerkitapauksissa mittaus on suoritettu päivittäin 20. toukokuuta ja 10. syyskuuta välisenä aikana. Luonnollisesti tarkkuus vähenee mittausten aikavälin kasvaessa ja myös jos aikavälit eivät ole yhtä pitkiä. Kuitenkin esim. 10 päivän välein suoritettavat mittaukset antavat joltisenkin luotettavia tuloksia (vrt. MESHECHOK 1969).

4. LYHYEN AIKAVÄLIN VAIHTELUT

41. Pohjavesipinnan päivittäiset vaihtelut

Pohjavesipinnan päivittäiset vaihtelut ovat jo pitkään kiinnittäneet tutkijoiden huomiota. Niinpä WHITE (1932) havaitsi, että pohjavesipinta on maksimissaan kohta auringon

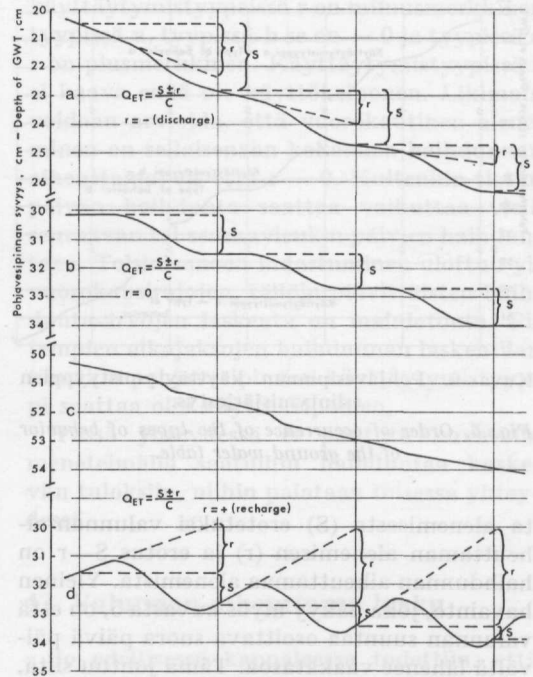
nousun jälkeen, alenee tämän jälkeen ja alkaa jälleen nousta auringon laskun jälkeen. Hän piti pohjavesipinnan alenemista haidunna aiheuttamana ja pohjavesipinnan nousua yön aikana alueelle tulevan pohjavesivirtauksen seurauksena. Monet muut tutkijat ovat todenneet saman ilmiön ja pitäneet ainakin

pääasiallisena päiväaikaisen alenemisen aiheuttajana haihduntaa (esim. BOUSEK 1933, TROXELL 1936, IJJASZ 1939, KAUSCH 1957, HORTON 1959). Muutamat tutkijat ovat WHITE'n (1932) tavoin käyttäneet ilmiötä haihdunnan mittaamiseen (esim. GATEWOOD ym. 1950, HEIKURAINEN 1963 ja 1967). Sama vuorokautinen vaihtelu on yleisesti todettu myös jokien ja purojen purkautumiskäyrissä (esim. BOUSEK 1933, TROXELL 1936, BURGER 1945 ja CRAIG 1963) ja syyksi on näissäkin tapauksissa todettu yleisimmin haihdunta.

Haihdunnan ohella on sekä pohjavesikajoissa todettuun vesipinnan vuorokautiseen vaihteluun että purkautumiskäyrien vastaavaan ilmiöön oletettu tai todettu vaikuttavan monien muiden seikkojen. IJJASZ (1939) kiinnitti huomiota maan lämpötilaerojen aiheuttamiin veden kaasumaisessa tilassa tapahtuviin liikkeisiin. Kesäaikana päivällä tapahtuu veden liikettä ylhäältä alaspäin ja yöllä päinvastoin. BJØR (1965) on ansiokkaasti tutkinut näitä maakerroksissa tapahtuvia vesihöyrydiffuusioita ja todennut tämän ilmiön aiheuttavan maan kosteusoloissa suuria vuorokauden aikaisia vaihteluita. Erityisen suuri tämän ilmiön vaikutus on paljaalla maalla.

Ilmanpaineen on myös arveltu vaikuttavan pohjavesipinnan korkeuteen (IJJASZ 1939), sen sijaan esim. KAUSCH (1957) ei todennut korrelaatiota ilmanpaineen ja pohjavesipinnan korkeuden välillä. Suljetun tilan pohjavesikajoissa ilmanpaineen vaikutus vesipinnan korkeuteen on kuitenkin voitu osoittaa (TODD 1966). Samoin on suljetun tilan pohjavesikajoissa todettu erittäin selvä kuun ja auringon vetovoiman aiheuttama vesipinnan vaihtelu, joka muistuttaa avoimen tilan pohjavesikajoissa todettua lähinnä haihdunnan aiheuttamaa vesipinnan vaihtelua (NILSSON 1968). Myös vuorovesi-ilmiö sellaisenaan saattaa vaikuttaa pohjavesipinnan tai purkautumiskäyrien vaihteluun, jos yhteys vuorovesi-ilmiön alaisiin vesiin on riittävä (esim. CRAIG 1963).

Turvemaiden vuorokautisista pohjavesipinnan vaihteluista on esitetty jo aikaisemmin eräitä tietoja (HEIKURAINEN 1963). Mainitussa tutkimuksessa todetaan, että yleensä päivinä, jolloin tapahtuu haihduntaa, vesipinnan aleneminen alkaa klo 8—10 ja jatkuu iltapäivään klo 18—20. Yön aikana pohjavesipinta käyttäytyy eri tavalla riippuen olo-



Kuva 5. Pohjavesipinnan erilaiset käyttäytymistyytit.

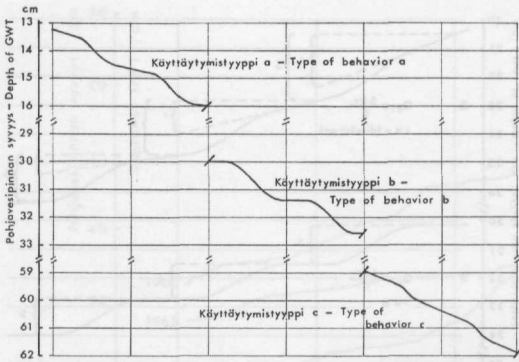
Fig. 5. Types of behavior of the ground water table.

suhteista. Kuvassa 5 on esitetty neljä erilaista pohjavesipinnan käyttäytymistyyppiä seuraavasti:

- pohjavesipinnan aleneminen jatkuu myös yöaikaana,
- pohjavesipinnan syvyys on muuttumaton yöaikaana,
- pohjavesipinnan vuorokautiset vaihtelut ovat myöhästyneet,
- pohjavesipinta nousee yön aikana.

Pohjaveden käyttäytymistyyppi a esiintyy tapauksissa, jolloin alueelta tapahtuu valuntaa. Pohjavesikäyrän yöaikainen aleneminen on valunnan aiheuttama. Erityisen jyrkkänä saattaa yöaikainen aleneminen tapahtua välittömästi runsaiden sateiden jälkeen. Tällainen pohjavesipinnan käyttäytymisen liittyy pohjavesikaivon ja maan vesilojen tasapainottumiseen, johon palaamme myöhemmin (s. 14).

Aamupäivällä pohjavesipinnan aleneminen nopeutuu haihdunnan vaikutuksesta ja illalla aleneminen jälleen hidastuu. Jatkamalla pohjavesipinnan yöaikaisen alenemisen suoraa vuorokauden loppuun saamme vuorokautises-



Kuva 6. Pohjavesipinnan käyttäytymistyyppien esiintymisjärjestys.

Fig. 6. Order of occurrence of the types of behavior of the ground water table.

ta alenemisesta (S) erotetuksi valunnan aiheuttaman alenemisen (r) ja erotus $S-r$ on haihdunnan aiheuttamaa alenemista. Yleinen havainto, joka näkyy myös kuvasta 5, on että valunnan suuntaa osoittava suora päiväpäivältä lähenee vaakatasoa. Tämä johtuu siitä, että pohjavesipinnan syvyyden lisääntyessä valunta pienenee, kuten useissa tutkimuksissa on todettu (esim. HEIKURAINEN and PÄIVÄNEN 1970).

Pohjavesipinnan käyttäytymistyyppi b esiintyy silloin, kun valunta on loppunut. Yöaikainen pohjavesipinta on muuttumaton eli pohjavesipinnan käyrä on yön aikana vaakasuora. Aleneminen alkaa aamulla (klo 8—10) ja sitä jatkuu iltaan asti (klo 18—20). Tämä aleneminen on haihdunnan aiheuttamaa.

Pohjavesipinnan käyttäytymistyyppiä a muistuttaa käyttäytymistyyppi c, joka esiintyy yleisesti pohjavesipinnan syvyyden ollessa suuri. Silloin ei ole enää kyse valunnasta, vaan turpeessa tapahtuvien vesiolojen muutosten hitaasta heijastumisesta pohjavesipintaan. Päivällä tapahtunut haihdunta ei enää välittömästi heijastu pohjavesipintaan, joka silloin on huomattavasti juuristokerroksen alapuolella. Juuristokerroksessa syntyvä vesivajaus korvautuu yön aikana kapillaarisena vedennousuna alemmista kerroksista ja siten pohjavesipinnan aleneminen jatkuu vielä yön aikanakin. Lopulta pohjavesipinnan syvyyden kasvaessa riittävän suureksi pohjavesipinnan alenemiskäyrä jatkuu lähes suorana ilman vuorokautista vaihtelua.

Seuraava pohjavesipinnan käyttäytymis-

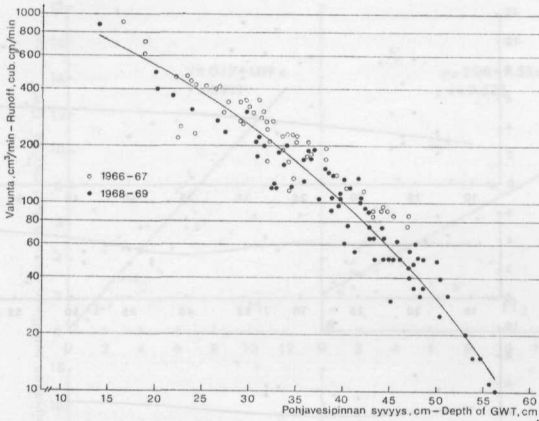
tyyppi d esiintyy suhteellisen harvoin ja havaintojen mukaan yleensä vain sellaisilla maastokohdilla, joissa alueelle voi tapahtua pohjavesivaluntaa ympäristöstä, esim. kangasmailta lähteisyyden tai niskaajan puuttumisen takia. Jossakin määrin saattaa käyttäytymistyyppin esiintymiseen vaikuttaa myös edellä mainittu päivän ja yön lämpötilaeroista johtuva vesihöyryn diffuusioikin (vrt. Bjor 1965). Yrityksistä huolimatta ei tämän työn yhteydessä ole onnistuttu erottamaan näitä kahta ilmiötä toisistaan kvantitatiivisesti. Laskelmat viittaavat kuitenkin siihen, että valunta alueelle on pääasiallinen aiheuttaja. Jo se seikka, että tämä käyttäytymistyyppi ei esiinny koskaan selvänä niillä alueilla, joissa alueella tapahtuvan valunnan edellytykset puuttuvat, viittaa siihen, ettei lämpöerojen aiheuttama vesihöyryn diffuusio ole yleistä eikä ainakaan määrällisesti vaikuttava ojitetuilla turvemaidilla.

Myös tämän käyttäytymistyyppin pohjavesikäyrästä voidaan laskea haihdunnan aiheuttama aleneminen jatkamalla yöaikaista käyrää ja summaamalla näin saatu r ja S.

Esitettyjen käyttäytymistyyppien keskinäinen esiintymisjärjestys aikajaksosona, jolloin sade ei häiritse kehitystä, on seuraava. Aluksi esiintyy tyyppi a, joka pohjavesipinnan syvyyden kasvaessa vähitellen muuttuu tyyppiksi b. Tämä esiintymistyyppi saattaa jatkua useita päiviä, jopa viikkoja samanaikaisena. Pohjavesipinnan aletessa tietylle syvyydelle käyttäytymistyyppi muuttuu c-tyypiksi, jonka ääritapaus on aleneva loiva käyrä ilman vuorokautisia vaihteluita. Kuten edellä jo kävi ilmi, on esiintymistyyppi d harvinaisen, enemmän tai vähemmän poikkeuksellisisissa oloissa esiintyvä. Kuva 6 osoittaa käyttäytymistyyppien a, b ja c keskinäistä ajoitumista.

Kirjallisuudessa on yleensä kuvattu vain käyttäytymistyyppiä d. Ilmeisesti tämä johtuu siitä, että aikaisemmat tutkimukset on tehty enemmän tai vähemmän aridisissa oloissa. Tällöin lähellä maanpintaa olevaa pohjavettä esiintyy vain alueella, jossa on alueelle tapahtuvaa valuntaa.

Kuten aikaisemmin on esitetty, voidaan pohjavesipinnan vuorokautista alenemista käyttää haihdunnan mittaamiseen (HEIKURAINEN 1963). Aluksi pyrittiin valunta eristämään rakentamalla suuria pohjattomia lysi-metrejä. Myöhemmät tutkimukset ovat kui-



Kuva 7. Valunnan riippuvuus pohjavesipinnan syvyydestä.

Fig. 7. Dependence of runoff on the depth of the ground water table.

tenkin osoittaneet, että Suomen olosuhteissa ei valunnan riittävän tehokas eristäminen onnistu. Riittävän maatunneiden turvekerrosten puute lienee syynä tähän. Mainittakoon, että Minnesotassa vastaanvanlaisia lysimetrejä on onnistuttu rakentamaan (vrt. BAY 1966):

Valunta voidaan kuitenkin erottaa pohjavesikäyrän vuorokautisista vaihteluista edellä esitetyllä tavalla. Haihdunnan laskeminen tapahtuu seuraavasti.

$$Q_{ET} = \frac{S \pm r}{C}, \text{ jossa}$$

Q_{ET} = vuorokautinen evapotranspiraatio, mm

S = vesipinnan vuorokautinen kokonaisalenneminen, mm

r = yöaikaisen muutossuunnan jatkeen osoittama valunnan aiheuttama pohjavesipinnan aleneminen tai tulovalunnan aiheuttama nousu, mm

C = pohjavesikerroin.

Pohjavesikerroin on käsite, joka on esitetty aikaisemmin (HEIKURAINEN 1963 ja PÄIVÄNEN 1964) ja joka vastaa yleisesti maahydrologiassa käytettyä termiä specific yield (WHITE 1932, TODD 1966) tai termiä coefficient of drainage (GATEWOOD ym. 1950). Pohjavesikerroin on kullekin turvekerrokselle ominainen ja siten se on esitettävä kullekin koelalle esim. käyränä, jossa vaaka-akselina on turpeen syvyys (vrt. PÄIVÄNEN 1964). Pohjavesikerroimen suhteellisen luotettava määrittäminen pienehköillä lysimetreillä on ollut mahdollista (vrt. PÄIVÄNEN em.t.).

Esitetty kaava on sama, jota jo WHITE (1932) käytti. Pohjavesipinnan erilaisissa

käyttätymistyypeissä r on miinusmerkkinen tyyppissä a, tyyppissä b se on $= 0$ ja tyyppissä d r on plusmerkkinen. Käyttätymistyyppissä c ei kaava enää ole käyttökelpoinen. Likimain voidaan arvioida, että vuorokautinen aleneminen on sellaisenaan kokonaan haihdunnan aiheuttama, eli että $r = 0$. Kuitenkin tietyn päivän haihdunta saattaa vaikuttaa vielä seuraavan tai seuraavienkin päivien haihduntaan. Toisin sanoen hidastuminen ulottuu yli vuorokausirajojen, tällöin päivittäisten haihdunta-arvojen laskenta on mahdotonta. Pitempien aikajaksojen haihdunnan laskentaan tämäkin pohjavesipinnan käyttätymistyyppi saattaa olla käyttökelpoinen.

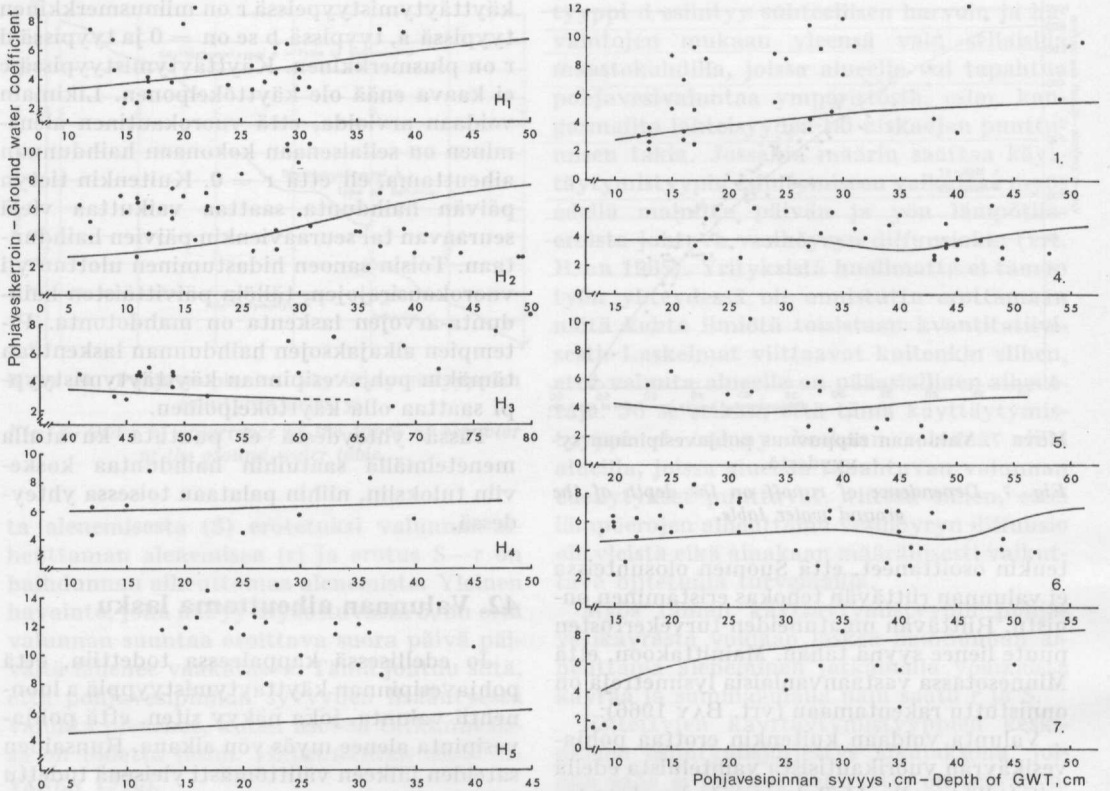
Tässä yhteydessä ei puututa kuvatulla menetelmällä saatuihin haihduntaa koskeviin tuloksiin, niihin palataan toisessa yhteydessä.

42. Valunnan aiheuttama lasku

Jo edellisessä kappaleessa todettiin, että pohjavesipinnan käyttätymistyyppiä a luonnehtii valunta, joka näkyy siten, että pohjavesipinta alenee myös yön aikana. Runsaiden sateiden jälkeen välittömästi yleisenä todettu jyrkkä lasku on kuitenkin suureksi osaksi ns. sadehuipun tasaantumista, joka johtuu pohjavesikaivon ja ympäröivän turpeen vesiolojen tasaantumisesta, eikä siten ole ainakaan kokonaan valunnan aiheuttamaa. Sen jälkeen kun pohjavesipinnan käyttätymistyyppi muuttuu sellaiseksi, että yöaikana ei tapahdu alenemista, voidaan valunnan katsoa loppuneen.

Useissa tutkimuksissa on todettu, että pohjavesipinnan syvyyden ja valunnan voimakkuuden välillä on selvä korrelaatio (vrt. HUIKARI ym. 1966). Esim. HEIKURAINEN ja PÄIVÄNEN (1970) totesivat, että heidän koekentillään 60 cm:n syvyyteen kaivetuista salaojista valunta loppui kokonaan pohjavesipinnan syvyydellä 50–55 cm. Saman koekentän eri koelajoilla pohjavesipinnan syvyyden ja valunnan välinen korrelaatio oli hyvin samankaltainen. Kuva 7 on esimerkkinä tästä.

Käsillä olevasta runsaasta materiaalista on tarkasteltu koelajoittain sitä suurinta pohjavesipinnan syvyyttä, jolloin a-käyttätymistyyppi muuttuu b-tyypiksi. Tätä rajaa voitaisiin kutsua valunnan loppumissyvyydeksi. Tulokset näkyvät seuraavasta asetelmasta.



Kuva 8. Eri koealojen pohjavesikerroinkäyrät ja sateen aiheuttaman pohjavesipinnan nousun ja vastaavan sadannan suhde.

Fig. 8. Ground water coefficient curves for various sample plots and relation between the rise of the ground water table due to rain and corresponding amount of rainfall.

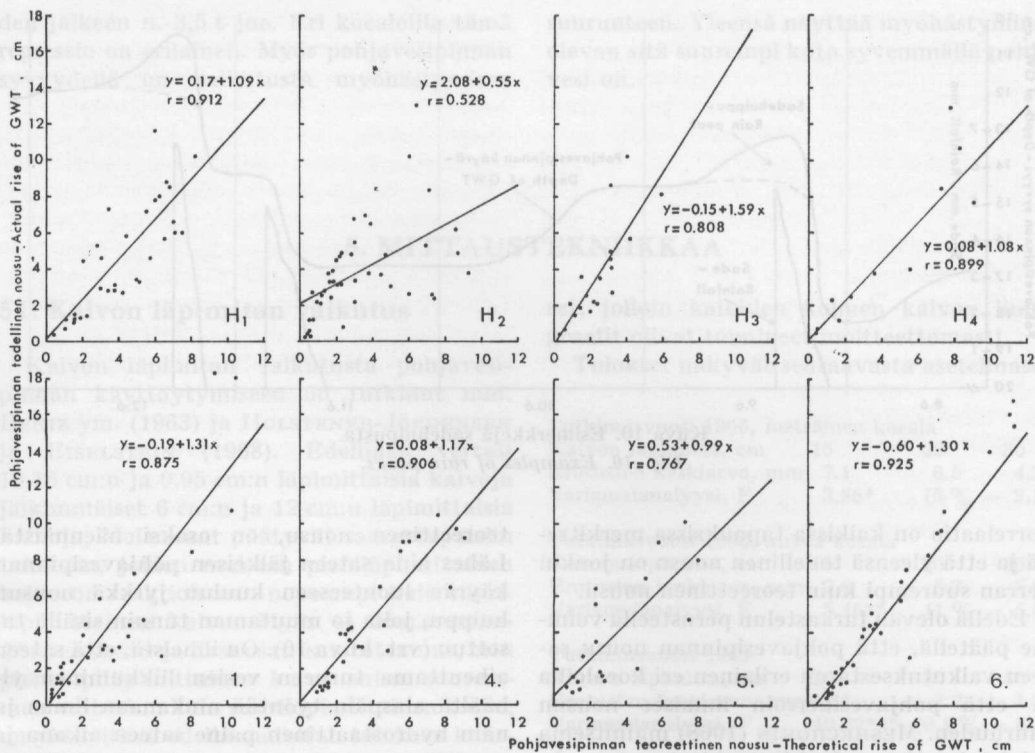
Vuosien 1963—65 koealat	1	2	3	4	5
Valunnan loppumissyvyys, cm	25	29	25	42	18
Vuosien 1967—69 koealat	1	3	4	5	7
Valunnan loppumissyvyys, cm	32	20	25	18	21

Tämän mukaan siis ojiin tapahtuvaa valuntaa tapahtuisi vain 20—30 cm pintakerroksista, poikkeuksen muodostaa vuosien 1963—65 aineiston koeala 4, joka on erittäin runsaasti puunjäännöksiä sisältävää turvetta ja siten vedenläpäisevyys on suuri. Itse asiassa valunta ja valunnan loppumissyvyys riippuvat ratkaisevasti turpeen vedenläpäisevyydestä, joka seikka on aikaisemminkin todettu esim. niissä kaavoissa, joita on esitetty sarkaleveyden määrittämiseksi (vrt. KLYAVINSH 1959, RICHARD 1963, FERDA 1968). Näissä kaavoissa sarkaleveys on suoraan verrannollinen turpeen vedenläpäisevyyden neliöjuureen. Toisaalta valunta ja valunnan loppumissyvyys riippuvat tietysti myös ojaetäisyydestä ja ojasyvyydestä.

Saadut tulokset eivät sellaisenaan ole yllättäviä. Esim. HUIKARI (1959) korostaa sitä, että jo 30 cm:n syvyydessä turve on varsin heikosti vettäläpäisevää ja PÄIVÄSEN (1969) tutkimusten mukaan eri turvelajien vedenläpäisevyys pienenee jyrkästi maatumisasteen kasvaessa.

Edellä oleva on koskenut ojiin tapahtunutta valuntaa. Myös pohjavesivalunta on mahdollista, mutta esim. Saksassa ja myös Suomessa tehtyjen tutkimusten mukaan soiden pohjavesivalunta on lähes olematonta (EGGELSMANN 1960, VIRTÄ 1966). Myös se tämän työn runsaan aineiston varassa tehty yleinen toteamus, että pohjavesipinnan käyttäytymistyyppiin a jälkeen yöaikainen pohjavesipinta saattaa viikkoja pysyä vaakasuorana (käyttäytymistyyppi b), osoittaa että pohjavesivaluntaa ei ojitetuilla soilla ole, tai se on ainakin erittäin vähäistä.

Valunnan arvioiminen itsepiirtävän mitta-



Kuva 9. Sateen aiheuttaman todellisen pohjavesipinnan nousun ja teoreettisen nousun korrelaatio.

Fig. 9. Correlation between the actual and theoretical rise of the ground water table due to rain.

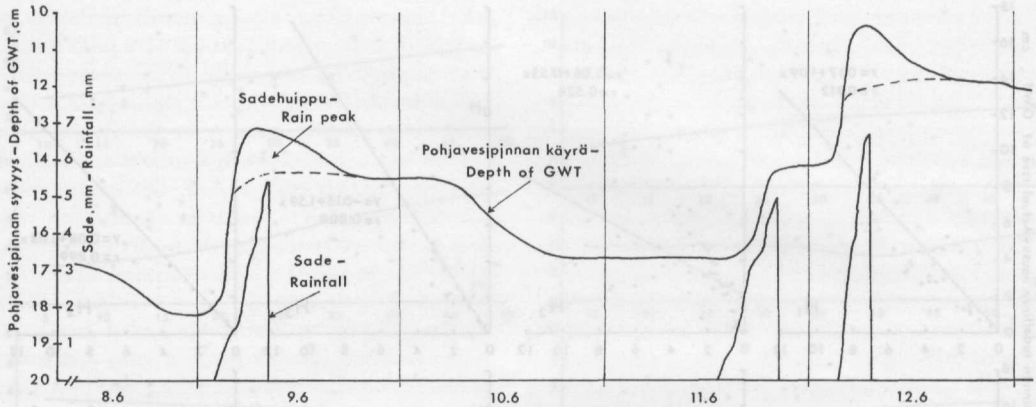
rin pohjavesikäyrän perusteella on ajateltavissa, mutta toisaalta sateen jälkeinen pohjavesipinnan labilius merkitsee ilmeisesti varsin suurta virhelähdettä. Tämän työn yhteydessä ei valunnan arvioimista pohjavesipinnan alenemisen perusteella ole yritetty.

43. Sateen aiheuttama nousu

Sateen aiheuttamaa pohjavesipinnan nousua on tutkittu koko aineistosta. Seuraavassa verrataan itsepiirtävien mittareiden antamia tuloksia pohjavesikertoimeen. Kuvassa 8 esitetään koealojen pohjavesikertoimen käyrät sekä sattuneiden sadetapausten mukaan lasketut pohjavesipinnan nousun ja maahan tulleeseen sademäärän suhteet. Kuvasta voimme todeta, että pohjavesipinnan nousun ja sateen perusteella lasketut suhdeluvut asettuvat yleensä joltisenkin hyvin pohjavesikerrointa osoittavalle käyrälle. Hajonta on kuitenkin suurta. Koealojen H 5 ja 7 kohdalla tulokset

ovat epäselviä. Syytä näiden koealojen poikkeaviin tuloksiin ei ole selitetty. Eräs mahdollisuus on, että kohta, jossa pohjavesikaivo sijaitsee ja kohta, josta pohjavesikertoimen määrittämiseksi näytteet on otettu, eivät ole turvekerrosten rakennetta ajatellen toisiaan vastaavia. Yleensä hajonta on suuri, eikä sitä ole lähemmin tutkittu. Eräs syy siihen varmasti on se, että maahan tullut sadanta on jouduttu arvioimaan usein suhteellisen kaukana sijaitsevien vapaan sadannan mittarien antamien tulosten sekä kunkin koealan puustopidännän käyrien perusteella (PÄIVÄNEN 1966). Vapaan sadannan arvot saattavat siis poiketa todellisista ja maahan tullutta sadantaa eli puustosadantaa ei ole voitu mitata sadetapauksittain.

Kuvassa 9 esitetään mitattujen sadetapausten pohjavesipinnan nousun ja pohjavesikertoimen avulla saadun teoreettisen nousun korreloimista. Kuvasta on jätetty pahiten poikkeavat, edellä jo mainittu kaksi koealaa pois. Kuvasta havaitsemme, että



Kuva 10. Esimerkkejä sadehuipusta.

Fig. 10. Examples of rain peaks.

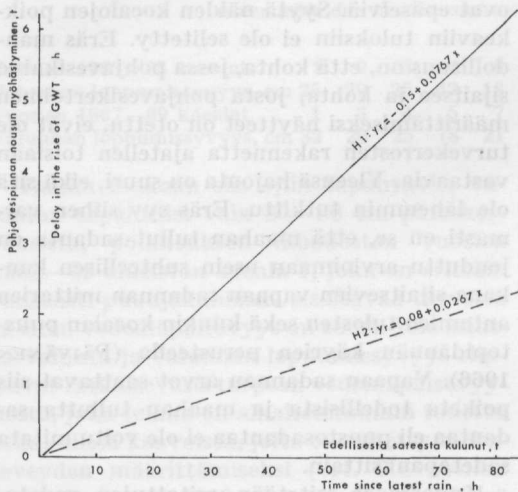
korrelaatio on kaikissa tapauksissa merkittävä ja että yleensä todellinen nousu on jonkin verran suurempi kuin teoreettinen nousu.

Edellä olevan tarkastelun perusteella voidaan päätellä, että pohjavesipinnan nousu sateen vaikutuksesta on erilainen eri koaloilla ja että pohjavesikerroin ilmaisee nousun suuruuden. MESHECHOKIN (1968) mainitsema suhdeluku 10 on ainakin tutkituissa tapauksissa ollut erittäin harvinainen, yleensä suhdeluku on paljon pienempi.

Se että todellinen nousu on suurempi kuin

teoreettinen nousu, on osaksi näennäistä. Lähes aina sateen jälkeisen pohjavesipinnan käyrän luonteeseen kuuluu jyrkkä nousun huippu, joka jo muutaman tunnin sisällä tasottuu (vrt. kuva 10). On ilmeistä, että sateen aiheuttama turpeen vesien liikkuminen ylhäältä alaspäin työntää mukanaan ilmaa ja näin hydrostaattinen paine sateen aikana ja sen jälkeen muodostuu suuremmaksi kuin sateen tuoman vesimäärän lisäys sellaisenaan merkitsisi. Tämä ilmiö nostaa pohjavesipintaa kaivossa korkeammalle kuin turpeen vesipitoisuus sellaisenaan edellyttäisi. Tämä ylimääräinen nousu, jota voitaisiin kutsua sadehuipuksi, on kuitenkin lyhytaikainen, yleensä se kestää vain 3–6 tuntia. Sadehuipun korkeus ja kesto aika vaihtelee. Joissakin tapauksissa sadehuippua ei esiinny ollenkaan, kun taas joskus huippu on hyvin korkea ja lyhytaikainen. Rankka sade näyttää aiheuttavan lyhytaikaisen ja jyrkän sadehuipun, kun taas tasaisesta, pitkään jatkuvasta sateesta ei sadehuippua aiheudu tai se jää matalaksi.

Jo aikaisemmin (HEIKURAINEN 1963) on esitetty, miten pitkän poutakauden jälkeen sateen aiheuttama pohjavesipinnan nousu alkaa näkyä vasta muutaman tunnin myöhästyneenä, mutta märkänä kautena pohjavesipinnan nousu alkaa sateen kanssa yhtäaikaista. Kuvassa 11 esitetään koaloilta H_1 ja H_2 sama asia. Kuvasta todetaan, että vuorokauden mittaisen satamattoman kauden jälkeen myöhästyminen on esim. koalalla H_1 ollut lähes kaksi tuntia, kahden vuorokauden mittaisen satamattoman kau-



Kuva 11. Sateen aiheuttaman pohjavesipinnan nousun myöhästymisen riippuvuus ajasta, joka on kulunut edellisestä sateesta.

Fig. 11. Dependence of the length of the delay time of the rise of the ground water table due to rain on the length of the preceding rainless period.

den jälkeen n. 3,5 t jne. Eri koealoilla tämä regressio on erilainen. Myös pohjavesipinnan syvyydellä on vaikutusta myöhästymisen

suuruuteen. Yleensä näyttää myöhästymisen olevan sitä suurempi kuin syvemmällä pohjavesi on.

5. MITTAUSTEKNIKKAA

51. Kaivon läpimitan vaikutus

Kaivon läpimitan vaikutusta pohjavesipinnan käyttäytymiseen on tutkinut mm. BENIZ ym. (1963) ja HOLSTENER-JÖRGENSEN ja EISELSTEIN (1968). Edellinen vertasi 10,16 cm:n ja 0,95 cm:n läpimittaisia kaivoja jälkimmäiset 6 cm:n ja 12 cm:n läpimittaisia kaivoja. Molemmat päätyvät samantapaisiin tuloksiin, joiden mukaan pieniläpimittainen kaivo on reaktioissaan nopeampi kuin suuriläpimittainen kaivo. Myös se HOLSTENER-JÖRGENSENIN ja EISELSTEININ toteamus, että pienempiläpimittainen kaivo antaa suuremman vaihtelun kuin suuriläpimittainen kaivo, on yhtäpitävä edellä mainitun tuloksen kanssa. Viimemainitut tutkijat pitävät pieniläpimittaisia kaivoja lyhytaikaisia tai päivittäisiä mittauksia ajatellen tarkempina kuin suuriläpimittaisia.

Tässä tutkimuksessa on käsitelty kaivon läpimitan vaikutusta päivittäiseen haihdunnan aiheuttamaan alenemiseen sekä sateen aiheuttamaan vesipinnan nousuun. Kysymystä on tutkittu kahtena vuonna. Vuonna 1966 tehtiin kolme pohjavesikaivoa metsäiselle suolle ja kolme aukealle suolle. Kaivojen läpimitat olivat kummallakin koekentällä 15 cm, 20 cm ja 30 cm. Vuonna 1969 verrattiin kolmea kaivoa läpimitoiltaan 20 cm, 30 cm ja 50 cm. Viimemainittu koekenttä sijaitsi metsäisellä suolla. Kaikissa koekentissä eri läpimittaiset kaivot sijaitsivat toistensa välittömässä läheisyydessä, n. 3 m:n säteellä. Kaivojen pohjavesipintaa seurattiin koko kasvukausi limnigraafeilla.

Haihdunnan aiheuttaman pohjavesipinnan alenemisen vertailu tehtiin seuraavasti. Jokaisena päivänä, jolloin jossakin kaivossa oli havaittavissa käyttäytymistyyppi b, jolloin siis pohjavesipinta aleni vain päiväaikana, laskettiin päiväaikaisen (klo 8—20) alenemisen ja yöaikaisen (klo 20—8) alenemisen erotus. Tutkittaviksi hyväksyttiin vain tapauk-

set, jolloin kaikkien kolmen kaivon limnigraafit olivat toimineet moitteettomasti.

Tulokset näkyvät seuraavasta asetelmasta.

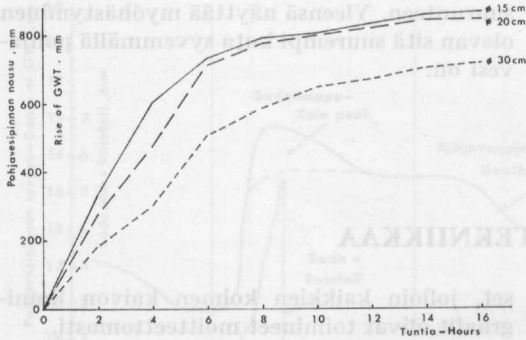
Tutkimusvuosi 1966, metsäinen koeala			
Kaivon läpimitta, cm	15	20	30
Erotusten keskiarvo, mm	7.1	6.5	4.3
Varianssianalyysi, F	3.86*	(5 % = 3.18)	

Tutkimusvuosi 1966, aukea koeala			
Kaivon läpimitta, cm	15	20	30
Erotusten keskiarvo, mm	7.6	5.3	5.0
Varianssianalyysi, F	5.46**	(1 % = 5.06)	

Tutkimusvuosi 1969			
Kaivon läpimitta, cm	20	30	50
Erotusten keskiarvo, mm	12.1	3.2	1.2
Varianssianalyysi, F	40.62***	(0.1 % = 8.52)	

Varianssianalyysinä suoritettu testaus osoitti kaikkien koekenttien osalta kaivojen väliset erot merkitseviksi. Tulos on tulkittava siten, että pieniläpimittaiset kaivot ovat herkemmin reagoineet turpeen vesiolojen muutoksiin kuin suuriläpimittaiset. Niinpä pohjavesikaivossa, jonka läpimitta oli 50 cm, ei juuri ollenkaan esiintynyt pohjaveden käyttäytymisjaksoa b, vaan yleensä käyttäytymisjakso c, joka sekin oli useimmiten tasoittunut lähes suoraksi.

Sateen aiheuttamaan pohjavesipinnan nousuun kaivon koolla on myös vaikutusta. Kesän 1966 aukean suon piirtureista on kaikkien yksittäisten sadetapausten aineisto, yhteensä 15 tapausta, käsitelty seuraavasti. Pohjaveden nousun alkamishetkestä on kahden tunnin välein luettu nousun suuruus kussakin erisuuruudessa kaivossa. Näin syntyneet kahden tunnin aikajaksojen nousut koko aineistossa on laskettu yhteen. Kuva 12 esittää tuloksia. Havaitsemme, että pohjavesipinnan nousu on sitä jyrkempi, mitä pienempi on kaivon läpimitta. 15 cm:n ja 20 cm:n kaivot eivät kovin paljon poikkea toisistaan, mutta 30 cm:n kaivo sen sijaan hyvin selvästi edellisistä.



Kuva 12. Pohjavesikaivon läpimitan vaikutus sateen aiheuttamaan pohjavesipinnan nousuun.

Fig. 12. Influence of the diameter of the ground water hole on the rising of the ground water table due to rain.

Kuvan 12 käyrien maksimiarvot ilmaisevat myös tutkittujen sadetapausten pohjavesipinnan nousun summaa. Täten kuvasta voidaan todeta, että myös pohjavesipinnan nousun määrään kaivon läpimitalla on vaikutusta. Nousun määrä on sitä suurempi, mitä pienempi on kaivon läpimita. Tutkitussa tapauksessa on 15 sadetapausten aiheuttama pohjavesipinnan yhteinen nousu ollut seuraava.

Kaivon läpimita	15 cm	20 cm	30 cm
Pohjavesipinnan nousun summa, cm	86,7	84,6	72,0

Kesän 1969 aineistosta on saatu käyttökelpoisia sadetapauksia vain 5 kpl. Näiden aiheuttama pohjavesipinnan nousun summa on seuraava.

Kaivon läpimita	20 cm	30 cm	50 cm
Pohjavesipinnan nousun summa, cm	80,5	60,1	40,7

Eri läpimitaa olevien kaivojen väliset erot ovat vuoden 1969 aineistossa yllättävän suuria. Aineisto on kuitenkin tältä osin pieni, ja kun koekenttä oli metsäinen, saattaa maahan tulevan sadannan erilaisuus osaltaan vaikuttaa tuloksiin. Näyttää kuitenkin ilmeiseltä, että pienemmässä kaivossa sateen aiheuttama pohjavesipinnan nousu on suurempi kuin suuressa kaivossa.

Tässä esitetyt tulokset ovat samanlaisia kuin edellä siteerattujen tutkimustenkin, jotka kuitenkin koskivat kivennäismaita. Käsitkseni mukaan selitys tämänlaatuisiin kaivon läpimitan aiheuttamiin eroihin on seu-

raava. Suuriläpimitaisen kaivon suuri vesivarasto toimii ympäröivän turpeen vesiolojen muutosten tasoittajana. Pieniläpimitainen kaivo on siten tarkempi ja todellisempi vesiolojen kuvaaja mitattaessa haihdunnan aiheuttamaa pohjavesipinnan päivittäistä laskua. Sen sijaan sateen aiheuttamaa pohjavesipinnan nousua mitattaessa pieniläpimitaisen kaivon sadehuippu liioittelee vesiolojen todellista muutosta. Riittävän suuriläpimitainen kaivo puolestaan suuren vedenvarastoimiskyvyn takia hidastaa sateen aiheuttamaa vesiolojen muutosta, ja kun valunta ojitetulla suolla saattaa ehtiä sateen jälkeen kääntämään vesipinnan alenevaan suuntaan ennen kuin suuriläpimitaisessa kaivossa vesipinta on ehtinyt kohota sademäärän edellyttämään maksimiinsa, jää vesipinnan nousu useissa tapauksissa pienemmäksi kuin sademäärä edellyttäisi. Kaiken kaikkiaan pohjavesipinnan mittaaminen sateen jälkeen pohjavesikaivosta näyttää enemmän tai vähemmän epätarkalta käytettiinpä minkä kokoista kaivoa tahansa.

52. Mittaustavoitteita ja ratkaisuja

Tässä kappaleessa mainitaan muutamia pohjavesipinnan mittaamisen ratkaisuja, joita vuosien mittaan on yliopiston suomensäätien laitoksessa kehitetty. Teknisiin yksityiskohtiin ei tässä kuitenkaan puututa, vaan tyydytään esittämään eräiden ratkaisujen periaatteita.

Tavoitteiltaan ja mittaustekniikaltaan soiden pohjavesipinnan mittaukset voidaan jakaa kahteen ryhmään, pohjavesipinnan syvyyden ja pohjavesipinnan korkeuden mittauksiin. Sivulla 4 esitetyn määritelmän mukaan syvyyden mittauksessa pyritään selvittämään suon pinnan ja pohjavesipinnan välinen etäisyys ja korkeuden mittauksessa pohjavesipinnan absoluuttinen tai suhteellinen korkeus. Tiedetään, että suon pinnan korkeus vaihtelee lähinnä suon vesipitoisuuden ja siten myös pohjavesipinnan korkeuden funktiona (vrt. esim. BADEN und EGGELSMANN 1964). Näinollen pohjavesipinnan korkeus vaihtelee enemmän kuin pohjavesipinnan syvyys. Riippuu tutkimuksen tavoitteesta kumpaa suuretta on tarkoituksenmukaisempaa mitata. Tietysti voidaan mitata molempiakin samalla kertaa, mutta

mittausmenetelmät samalla komplisoituvat. Pohjavesipinnan syvyyttä mitattaessa mitauskohdan 0-taso on sidottava suon pintaan, korkeutta mitattaessa taas esim. liikku-mattomaan perusmaahan juntattuun paa-luun. Luonnontilaisella suolla suonpinnan vaihtelut vesitalouden muutosten mukaan ovat varsin suuria, jopa 10—20 cm, mutta tehokkaasti kuivatulla suolla muutokset ovat suhteellisen pieniä, yleensä korkeintaan parin senttimetrin luokkaa (vrt. BADEN und EG- GELSMANN 1964). Kuivatuilla soilla siis sy- vyyden mittaus antaa kohtalaisen hyvän kuvan myös pohjavesipinnan korkeuden vaihteluista.

Tutkittaessa kuivatulla suolla vesioloja kasvutekijänä pohjavesipinnan syvyyden mittaus lienee oikeampi menetelmä, koska myös juuristo liikkuu suon pinnan vaihtelu- jen mukana.

Edelleen pohjavesipinnan syvyyden ja miksei myös korkeuden mittaukset voidaan tavoitteeltaan jakaa kahteen ryhmään, muu- tosten kronologiseen seuraamiseen ja pohja- vesipinnan keston selvittämiseen. Edellisessä voidaan vielä erottaa toisaalta keskiarvojen tavoittelemisen ja toisaalta jatkuva pohja- vesipinnan syvyyden seuraaminen.

Kronologisessa pohjavesipinnan kuvaami- ssa keskiarvojen avulla riippuu keskiarvo- jen tarkkuus ratkaisevasti siitä, kuinka usein mittaukset toistetaan. Päivittäinen havaitse- minen antaa jo varsin hyvän kuvan pohja- vesipinnan syvyyden kronologisista vaihte- luista, jopa 10 päivän välein tapahtuvia mit- tauksiakin on tähän tarkoitukseen käytetty (esim. MESHECHOK 1969).

Yksinkertaisin tapa mitata pohjavesipin- nan syvyyden kronologista vaihtelua on mi- tata suonpinnan ja vesipinnan välinen etäi- syyss mittatikulla, metrinmitalla yms. Jos syvyys on vähäinen, ei mittauksessa yleensä tarvita apuvälineitä, jos taas syvyys on mel- koinen, esim. yli 1 m, tarvitaan apuvälineitä, esim. merkkivalosysteemiä (vrt. JUUSELA 1945). Kaivoon sijoitettu mitta-asteikkolla varustettu ohut lasiputki, jonka yläpää voi- daan mitattaessa sulkea tekee mahdolliseksi tarkat mittaukset. Nostamalla yläpäästään suljettu lasiputki kaivosta voidaan pohjavesi- pinnan syvyys välittömästi lukea (vrt. LU- MIALA 1944). Edellä viitatuissa mittausme- nelmissä on se heikkous, että mittajaan paino vaikuttaa pohjavesipinnan syvyyteen.

Tämä voidaan eliminoida käyttämällä pie- nellä uimurilla varustettua mittatikkuu, jon- ka kalibroidusta mittamerkistä voidaan ra- kennelmaan kuuluvalta mitta-asteikolta riit- tävän etäisyyden päästä lukea pohjavesipin- nan syvyys. Tällaista rakennelmaa on käy- tetty aikaisemmin (vrt. HEIKURAINEN and PÄIVÄNEN 1970 s. 6).

Monia muita ratkaisuja voidaan tietysti konstruoida. Eräs keskeinen ongelma kaikissa tämäntapaisissa menetelmissä on suon pinnan eli syvyyden 0-pisteen määrittäminen ja säi- lyttäminen. Yleisesti käytetty ns. kalibroin- titikku (vrt. HEIKURAINEN and PÄIVÄNEN em.t.) ei ole ainakaan vuosia kestäviin mit- tauksiin onnistunut, koska se helposti liikkuu esim. roudan vaikutuksesta. Paras ratkaisu ilmeisesti on suon pinnalla makaava lauta tai levy, josta itse mittaus suoritetaan tai johon kaivossa olevat mittauslaitteet on kiinnitetty.

Pohjaveden syvyyden jatkuva kronologi- nen seuraaminen käy päinsä vain itsepiirtä- villä mittareilla ns. limnigraafeilla. Vielä pi- temmälle kehitettyjä ovat digitaalisesti toi- mivat mittarit, joihin voidaan kytkeä val- miiksi ohjelmoitu tietokoneohjelma. Limni- graafien yleinen heikkous on kuitenkin ver- rattain suuri uimuri, joka vaatii läpimital- taan vielä suuremman kaivon. Kuten edellä todettiin, tämä seikka on ainakin lyhytaikai- sia pohjavesipinnan muutoksia havaittaessa paha puute. Kapasitiivinen anturi, jossa syn- tyvät jännite-erot ovat pohjavesipinnan sy- vyyden funktioita, on parempi ratkaisu, kos- ka anturi voidaan rakentaa läpimitaltaan pieneksi. Yliopiston suometsätieteen laitok- sessa on käytetty menestyksellä 2 cm läpi- mittaista anturia. Kapasitiivisen mittarin jännite-erot voidaan johtaa keskusosaan ja muuntaa siellä halutun pituisin aikavälein printterin välityksellä numerosarjaksi.

Tyydyttäessä mittaamaan vain pohja- vesipinnan syvyyden kestoja, jonka luontees- ta ja käyttökelpoisuudesta on edellä ollut puhetta, voidaan tietysti käyttää edellä mai- nittuja menetelmiä, mutta koska ne vaativat joko jatkuvaa työvoimaa tai suhteellisen kal- liita limnigraafeja tai vielä kalliimpia muita rekisteröiviä mittareita, saattaa olla talou- dellista käyttää menetelmää, joka sopii vain keston mittaamiseen ja on kustannuksiltaan halpa. Tätä tarkoitusta varten yliopiston suometsätieteen laitoksella on kokeiltu kahta halpaa mittarikonstruktiota, elektrolyyttistä

mittaria ja radioaktiivista säteilymittaria. Edellisessä pohjavesipinnan korkeus säätelee elektrolyytin korkeuden ja syntyneen kerrostuman paksuus tiettyssä katodin kohdassa ilmaisee pohjavesipinnan keston vastaavalla syvyydellä. Jälkimmäisessä kojeessa pieni kobolttipatruuna liikkuu uimurin ja vastapainon varassa pohjavesipinnan mukaan ja valottaa säteilylle herkkää filmiä. Valotuksen voimakkuudesta filmillä voidaan kalibroituja koevalotuksia käyttäen joltisenkin luotettavasti tulkita pohjaveden kesto kullakin syvyydellä. Molemmat kojeet ovat vielä proto-

tyyppisiä eivätkä loppuun asti kehitettyjä, mutta ne ovat alustavissa kokeissa osoittautuneet lupaaviksi.

Sateen aiheuttamien muutosten mittaaminen tarkasti ja luotettavasti on osoittautunut pohjavesikaivoista vaikeaksi ovatpa ne läpimitaltaan minkälaisia tahansa. Parempi ratkaisu ilmeisesti olisi painemittari tai paineherkkä elementti, joka voitaisiin upottaa suohon tietylle syvyydelle ja sen rekisteröimistä paineluvuista voitaisiin lukea pohjavesipinnan syvyys, joka tällöin olisi todellinen.

6. YHDISTELMÄ

Julkaisussa määritellään käsitteet pohjavesipinnan syvyys ja korkeus sekä tarkastellaan ojitettujen soiden pohjavesipinnan syvyyttä yleisesti vuoden eri aikoina eli pohjavesipinnan kronologista esitystapaa. Pohjavesipinnan kesto todetaan käyttökelpoiseksi käsitteeksi tiettyjä tarkoituksia silmälläpitäen ja esitetään keston graafinen esitystapa. Näissä pohjavesipinnan pitkän aikavälin vaihteluissa todetaan suuria koealakohtaisia ja vuosittaisia eroja. Edelliset johtuvat osaksi kuivatuksen mutta erityisesti turpeen rakenteen eroista, viimeksi mainittuja kuvaa parhaiten pohjavesikerroin. Jälkimmäiset vaihtelut ovat etenkin kesäaikana sateiden säätelemiä.

Lyhyen aikavälin vaihteluista käsitellään vuorikautisia vaihteluilmiöitä, joita leimaa haihdunnan aiheuttama päiväaikainen pohjavesipinnan lasku. Lähinnä haihdunnan laske- mista varten jaetaan vuorokautiset vaihtelut neljään pohjavesipinnan käyttäytymisjaksoon, joiden luonnetta ja esiintymisyleisyyttä

tarkastellaan. Valunnan aiheuttamaa pohjavesipinnan laskua selvitetään ja todetaan tällaista esiintyvän vain suhteellisen matalassa pintakerroksessa. Sateen aiheuttamaa pohjavesipinnan nousua tutkitaan vertaamalla todettua nousua sademäärän ja pohjavesikertoimen avulla laskettuun teoreettiseen nousuun. Sateen aiheuttama todellinen nousu todetaan suuremmaksi kuin laskelmain edellyttämä teoreettinen nousu. Tässä yhteydessä esitetään käsite sadehuippu.

Mittaustekniikkaa käsittelevässä osassa kiinnitetään erityistä huomiota kaivon läpimitan vaikutukseen. Todetaan pieniläpimittaisten kaivojen olevan herkempiä ja tarkempia mitattaessa päivittäisiä alenemisilmiöitä, mutta sateen aiheuttamaa nousua ajatellen pieniläpimittainen kaivo antaa liian suuria arvoja, suuriläpimittainen puolestaan liian pieniä arvoja. Pohjavesipinnan erilaisia mittaustavoitteita tarkasteltaessa esitetään muutamia eri tavoitteisiin sopivia teknisiä ratkaisuja.

KIRJALLISUUTTA

ANDERSSON, F., 1970. Ecological studies in a Scania woodland and meadow area, Southern Sweden. I Vegetational and environmental structure. — Opera Botanica N:o 27.

BADEN, W. und EGGELSMANN, R., 1964. Der Wasserkreislauf eines Nordwestdeutschen Hochmoores. — Verlag Wasser und Boden, Hamburg.

- BAY, R. R., 1966. Evaluation of an evapotranspirometer for peat bogs. — *Water Resour. Res.* 2.3.
- , 1967. Ground water and vegetation in two peat bogs in Northern Minnesota. — *Ecology*, Vol. 48, N:o 2.
- BENZ, L. C., 1963. Small and large diameter water table observation wells compared. — *Trans A.S.A.E.* 6.2 p. 93–94.
- BJØR, K. 1965. Temperaturgradientens betydning for vannhusholdningen på skogsmark. Summary: The influence of the temperature gradient on the water movement in forest soils. *Medd. f. Det Norske Skogforsöksv.* n:o 76, B. XX.
- BOUSEK, R., 1933. Das tägliche periodische Steigen und Fallen des Grundwasserspiegels. — *Die Wasserwirtschaft*, 1933, n:o 22, p. 300–302.
- BURGER, H. 1945. Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. — IV Mitteilung. Der Wasserhaushalt im Walde, di Melera, von 1934/35 bis 1943/44.
- BURKE, W., 1961. Drainage investigation on bogland. The effect of drain spacing on ground water levels. — *Irish J. Agric. Res.* 1, 31–34.
- CRAIG, F. C., 1963. Variation in velocity distribution in a tide-affected stream. — *Select. Techn. in Water Resour. Invest., Geol. Surv. Water-Supp. Pap.* 1669 — Z 17 — Z 24.
- EGGELSMANN, R., 1960. Über den unterirdischen Abfluss aus Mooren. — *Die Wasserwirtschaft* 50, p. 149–154.
- FERDA, J., 1968. Kotázce stanoveni rozchodu prikopu při odvodnovani raselinistních pud. Summary: On the problem of ditch spacing determination in peat soil draining. — *Lesnický časopis, ročník* 14.
- GATEWOOD, J. S., ROBINSON, B. R., COLBY, I. D. and HALPENNY, L. C., 1950. Use of water by bottom-land vegetation in Lower Safford Valley, Arizona. — *Geol. Surv. Wat.-Supply Pap.* 1, 103.
- HEIKURAINEN, L., 1963. On using ground water table fluctuations for measuring evapotranspiration. — *Acta Forest. Fenn.* 76.5.
- , 1967. Hakuun vaikutus ojitettujen soiden vesitalouteen. Summary: On the influence of cutting on the water economy of drained peat lands. — *Acta Forest. Fenn.* 82.2
- , PÄIVÄNEN, J. and SARASTO, J., 1964. Ground water table and water content in peat soil. — *Acta Forest. Fenn.* 77.1.
- and PÄIVÄNEN, J., 1970. The effect of thinning, clear cutting, and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. — *Acta Forest. Fenn.* 104.
- HOLSTENER-JØRGENSEN, H. and EISELSTEIN, L. M., 1968. The influence of the type and diameter of observation wells on ground-water level measurements. — *Det forstl. Försögsv.* i Danmark, n:o 241, XXXI, 1.
- HORTON, J. S., 1959. The problem of phreatophytes. — *Intern. Union of Geol. and Geoph., Intern. Assoc. of Scient. Hydr. Symp. of Hannover-Münden.* V. I, p. 76–83.
- HUIKARI, O. 1959 a. Kenttämittauksia turpeen vedenläpäisevyydestä. Referat: Feldmessungsergebnisse über die Wasserdurchlässigkeit von Torfen. — *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 51.1.
- HUIKARI, O. 1959 b. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta. Referat: Über den Wasserhaushalt waldentwässerter Torfböden. — *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 51.2.
- , 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.
- IJJASZ, E. L., 1939. Grundwasser und Baumvegetation, unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der Ungarischen Tiefebene. — *Erdeszeti Kisértetek*, XLI, Evfolyam 1939, Sopron, 1–4, SZÁM.
- JOHANSSON, S. och SOVERI, U., 1965. Om grundvattentans variation i Finland under åren 1961–1963. Summary: On variations in the ground water level in Finland during the years 1961 to 1963. — *The State Inst. f. Tech. Res., Finland.* III. 88.
- JUUSELA, T., 1945. Untersuchungen über den Einfluss der Entwässerungsverfahrens auf den Wassergehalt des Bodens, den Bodenfrost und die Bodentemperatur. — *Acta Agralia Fennica* 59.
- , KAUNISTO, S. ja MUSTONEN, S., 1969. Turpeesta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavista tekijöistä. Summary: On factors affecting evapotranspiration from peat. — *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 67.1.
- KAUSCH, W. 1957. Die Transpiration als Ursache für tägliche Grundwasserschwankungen. — *Ber. d. Deutsch. Bot. Gesell., Band* LXX.
- KLYAVINSH, YA., 1959. Degree of forest drainage in Latvian S.S.R. — The increase of productivity of swamped forests. *Akad. Nauk S.S.S.R. (transl. from Russ.)* p. 70–76.
- LUKKALA, O. J., 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Referat: Die natürliche Verjüngung der Bruchwälder. — *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 34.3.
- LUMIALA, O. V., 1944. Über die Beziehung einiger Moorpflanzen zu der Grundwasserhöhe. — *Extr. d. com. Rend. de la Soc. Geol. de Finl.* n:o XVI.
- MESHECHOK, B., 1969. Törrelegging av myr ved ulik grøfteavstand og grøftedybde. Summary: Drainage of swamps at different ditch distances and ditch depths. — *Medd. fra D. Norske Skogforsöksv.*, 98, XXVII, 3.
- MULTAMÄKI, S. E., 1936. Über den Grundwasserstand in versumpften Waldböden vor und nach der Entwässerung. — *Hydrol. Konf. der Baltischen Staaten Mitt.* 4 A, Finnland.
- NILSSON, L. Y., 1968. Short-time variation of the ground water and its reasons. — *Ground Water Problems*, Pergamon Press, Oxford.
- PAAVILAINEN, E., 1963. Turpeen vesipitoisuudesta ja pohjavesipinnasta. Summary: On water content of peat and ground water level. — *Suo* n:o 1.
- PÄIVÄNEN, J., 1964. Menetelmä pohjavesikertoimen ja pintakasvillisuuden haihdunnan määrittä-

- miseksi. Summary: A method to determine the ground water coefficient and the ground vegetation transpiration. — *Suo* n:o 6.
- PÄIVÄNEN, J., 1966. Sateen jakaantuminen erilaisissa metsiköissä. Summary: The distribution of rainfall in different types of forest stand. — *Silva Fennica* 119. 3.
- , 1968 a. Pohjavesipinta ja turpeen vesipitoisuus rahkamättäisellä lyhytkortisella nevalla. Summary: Ground-water level and water content of peat in an open low-sedge swamp with *Sphagnum fuscum* hummocks. — *Suo* n:o 2.
- , 1968 b. Tutkimuksia turpeen fysikaalisista ominaisuuksista, erityisesti tilavuuspainosta, vedenläpäisevyydestä ja vedenpidätyskyvystä. — Konekirjoite Helsingin yliopiston suomensäätieteen laitoksessa.
- RICHARD, F., 1963. Wasserhaushalt und Entwässerung von Weideböden. — *Mitteil. der Schweiz. Anst. für das Forstl. Versuchsw.* Bd. 39. H. 5, 247–269.
- TODD, D. K., 1966. Ground water hydrology. — John Wiley & Sons. Inc., New York.
- TROXELL, H. C., 1936. The diurnal fluctuation in the groundwater and flow of the Santa Ana River and its meaning. — *Transact. Amer. Geoph. Un., Rep. and Pap., Hydrol.* 1936, p. 496–504.
- WHITE, W. N., 1932. A method of estimating ground water supplies based on discharge by plants and evaporation from Soil.-United Stat. Dep. of the Inter., Water-Supply Paper 659–A.
- VIRTA, J., 1962. Suohydrologisista tutkimuksista Lapissa ja Pohjanmaalla. Summary: On the research of peat land hydrology in Lapland and Ostrobothnia. — *Suo*, n:o 3.
- , 1966. Measurement of evapotranspiration and computation of water budget in treeless peatlands in the natural state. — *Comm. Physico-Math. Societ. Fenn.* 32.11.
- , 1967. Kohosuon vedenkorkeuden laskemisesta. Summary: Computing the water level of a raised bog. — *Suo*, n:o 5.
- WÄRE, M., 1947. Maan vesisuhteista ja viljelyskasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina 1939–1944. Referat: Über die Wasserverhältnisse des Bodens und die Erträge von Kulturpflanzen auf dem wasserwirtschaftlichen Versuchsfeld Maasoja in den Jahren 1939–1944. — Helsinki.

SUMMARY

GROUND WATER TABLE IN DRAINED PEAT SOILS AND ITS MEASUREMENT

INTRODUCTION AND CONCEPTS USED

The present study deals with the ground water table in the soil of peatlands which have been drained for forestry and with the technique used for its determination. With the foreign reader in mind it ought to be mentioned that in Finland, where one third of the land area is peatland, about 3.5 mill. hectares have been drained for forestry by the year 1971, and that this area is annually increased by another 300 000 hectares. In sites of the kind in question the ground water table remains at a relatively high level even after drainage, and this makes measurements easy to carry out.

Generally the ground water table is defined as the water surface that appears in a hole made in the ground. The hole must be so large that the water surface appearing is not influenced by capillary forces. Holes of this kind are called ground water holes or ground water wells. We also speak about ground water of the confined and the unconfined space (e.g. TODD 1966). The ground water occurring

in drained peat soils is ground water of the unconfined space.

In agreement with the soil water energy relations the ground water table occurs at the level where soil water tension reaches the value zero (e.g. BURKE 1961). The depth of the ground water table is the distance between the ground surface and the ground water table. The height of the ground water table is the absolute or relative vertical distance between the ground water table and a fixed point. Because of the fact that the surface of peatlands moves under the influence of a great number of different factors (e.g. BADEN and EGGELSMAN 1964), the depth of the ground water table and the height of the ground water table are not parallel concepts. The present paper mainly deals with the depth of the ground water table.

LONG-TERM FLUCTUATION

Fig. 1 (p. 5) shows the depth of the ground water table in certain sample plots during the periods

1966–67 and 1968–69. It can be seen that the maximum of the late summer usually exceeds that of the early spring, and that the minimum occurring in the period of snow melting is more clearly discernible than that of the fall.

Fig. 2 (p. 6) shows the depth of the ground water table in certain sample plots in the summer periods of 1963, 1964 and 1965 as well as of 1968 and 1969. The depth of the ground water table was measured using self-registering gauges, and the values presented in the figure were based on recordings taken at noon each day. Technically the drainage intensity (ditch spacing, ditch depth and distance of the ground water holes from the nearest ditch) showed only little variation from plot to plot, but nevertheless it can be seen that great differences occur in the depths of the ground water table in different sample plots. These differences are due to the specific properties of the peat of different peat layers, which are expressed in terms of the ground water coefficient. The ground water coefficient is a relative figure indicating the relation between a certain change in the depth of the ground water table and the quantity of water that causes the change in question. In soil hydrology the term ground water coefficient nearly corresponds to the frequently used concepts specific yield (WHITE 1932, TODD 1966) and coefficient of drainage (GATEWOOD et al. 1950). The ground water coefficient takes certain values for certain peat layers, and it must be presented on each separate occasion in the shape of a curve (cf. PÄIVÄNEN 1964). The ground water coefficient can best be determined with the aid of lysimeters of a moderate size.

Fig. 2 shows that rain causes a rise of the ground water table. This, in turn, is followed by a fall which is caused by runoff and evaporation. The fluctuations in the depth of the ground water table may be presented in the form of a function (cf. VIRTÄ 1966) in which rainfall, runoff and evaporation as well as the ground water coefficient are independent variables.

The way of describing the long-term fluctuation in the depth of the ground water table which has been used in Figs. 1 and 2 is called a chronologic presentation. Figs. 3 (p. 7) and 4 (p. 8) show the duration of the depth of the ground water table. In this way of presentation the depth values for a certain period of observation are put in order according to their magnitude; the depths of the ground water table are indicated on the y-axis and the time for which the ground water table has remained at certain depths, on the x-axis. Either numerical or graphical presentation may be used.

From a presentation of this kind it is quite easy to calculate the means when required. It ought to be noted that measurements must be carried out at regular intervals in determination of the duration of the depth of the ground water table. In the cases of our examples measurements were taken daily during the period May 20 — September 10.

SHORT-TERM FLUCTUATION

Fig. 5 (p. 9) shows the fluctuations in the depth of the ground water table in the course of 24-hour periods. The question is about the same phenomenon which has been observed previously by many research workers, both in the ground water table and in runoff curves (e.g. WHITE 1932). In the present connection difference is made between four types of behavior of the ground water table: a) the ground water table keeps falling also during the night hours, although the rate of falling is not as high as in daytime, b) the ground water table rests at the same depth during the night, whereas during the day it clearly falls, c) the descent of the ground water table is similar throughout the whole 24-hour period, d) the ground water table rises during the night hours and falls in daytime.

Fig. 6 (p. 10) illustrates the order of occurrence of the types of behavior of the ground water table. Type a occurs when the ground water table is near the ground surface, and the nocturnal fall is caused by runoff. It is gradually replaced by type b with the fall of the ground water table; now runoff has ceased, and the only factor causing changes in the depth of the ground water table is the evaporation taking place in daytime. When the ground water table drops low enough, the fall caused by evaporation is delayed, and still later it takes place at an almost constant rate without any differences worth of mentioning in day- and nighttime. Type d occurs only rarely in drained peatlands because recharge is the factor causing the rise during the night.

The author has used the fluctuations of the ground water table during 24-hour periods in order to determine evaporation (HEIKURAINEN 1963). The type of behavior best suited to this purpose is type b, but at least theoretically, types a and d can also be used to describe daily evaporation by means of the formulae presented in Fig. 5 (cf. also WHITE 1932).

The fall of the ground water table taking place due to runoff into the ditches was studied separately. There is a clear correlation prevailing between the depth of the ground water table and runoff. Fig. 7

(p. 11) shows an example of this correlation. The greater the depth of the ground water table, the smaller is runoff. At a certain depth of the ground water table runoff ceases completely. This depth differs from case to case, ranging in the cases now dealt with from 18 to 42 cm.

In the study carried out on the rise of the ground water table caused by rain, the values obtained with direct measurement were compared with those obtained by calculation based on the rainfall and the ground water coefficient. As can be seen from Fig. 9 (p. 13), there is a clear correlation. Fig. 8 shows the same thing in an other way; here the relation between the rise of the ground water table due to rain and the amount of rainfall is presented abreast with the curve indicating the ground water coefficient as obtained from lysimeter experiments. Dispersion is caused by a great many factors, some of which are connected with the technique of measurement. Generally speaking, it can be seen from the figure that the actual rise of the ground water table exceeds the theoretical rise, obtained with the aid of the ground water coefficient. Fig. 10 (p. 14) gives an explanation of this situation. When the ground water table rises after rain, it reaches for a short period a level which is higher than that provided by the state of the soil water relations. The reasons for the occurrence of such rain peaks have not been found out by now. It has been established, however, that the rain peak is extremely clear after heavy rainfall, whereas after weak and even rains it does not occur at all.

As already mentioned, the rise of the ground water table due to rain is delayed by a few hours when the rain is preceded by a dry spell of long duration. In wet periods, on the other hand, the rising of the ground water table begins at the same time as the rainfall (HEIKURAINEN 1963). Fig. 11 (p. 14) shows this delay in the rising of the ground water table in two sample plots as a function of the time that has elapsed since the latest preceding rain. Generally it may be concluded that the regression is specific of each separate case. Besides, the depth of the ground water table affects the length of the delay time: it is the longer the deeper lies the ground water table.

INFLUENCE OF THE DIAMETER OF THE GROUND WATER HOLE

The influence of the diameter of ground water holes on the fluctuations of the ground water table that have been measured has been the object of several years' study. A comparison between the fall

of the ground water table in daytime (8 00–20 00 h) and during the night (20 00–8 00 h) in ground water holes with different diameter, but situated near each other, gave following results:

Year of study: 1966. Forest-covered plot			
Diameter of ground water hole, cm			
	15	20	30
Mean of difference, mm . .	7.1	6.5	4.3
Analysis of variance, F . .	3.86*	(5 % = 3.18)	
Year of study: 1966. Treeless plot			
Diameter of ground water hole, cm			
	15	20	30
Mean of difference, mm . .	7.6	5.3	5.0
Analysis of variance, F . .	5.46**	(1 % = 5.06)	
Year of study: 1969			
Diameter of ground water hole, cm			
	20	30	50
Mean of difference, mm . .	12.1	3.2	1.2
Analysis of variance, F . .	40.62***	(0.1 % = 8.52)	

It may thus be concluded that the response to changes in water relations of the peat is greater in ground water holes with a small diameter than in larger holes. The diameter of the ground water hole also affects the rising of the ground water table due to rain. The smaller the hole diameter, the greater is the rise (cf. Fig. 12, p. 16).

Similar conclusions have been drawn earlier, too, although in connection with studies concerning ground water relations in mineral soils (BENIZ et al. 1963, HOLSTENER-JÖRGENSEN and EISELSTEIN 1968). The reason for the fact that the hole diameter is of importance in this connection is as follows: The large body of water which is stored in a hole with a large diameter functions as a leveller of the changes taking place in the water relations of the peat in its immediate surroundings. In studies of the daily fluctuations in the depth of the ground water table, holes with a small diameter give more accurate results than larger ones. In measurements of the rising of the ground water table after rain, however, the rain peak appearing in narrow holes magnifies the change that actually takes place in water relations. A ground water hole with a sufficiently large diameter, on the other hand, slows down the rate of rising because of the large body of water it contains. Generally speaking it may be concluded that measuring the depth of the ground water table after rain in ground water holes always involves inaccuracy, whatever the diameter of the holes used.

METHOD OF MEASUREMENT

The simplest way of measuring the depth of the ground water table is to determine the distance between the ground surface and the water table using

a measuring stick or the like. In deep holes auxiliary equipment, for example a light-signal system, is required (cf. JUUSELA 1945). In mellow peat soils, where the weight of the person carrying out measurements might cause a change in the level of the ground water table, a device furnished with a small float can be used; this makes it possible to take the reading at some distance from the hole (cf. HEIKURAINEN and PÄIVÄNEN 1970, p. 6). In measurements carried out over long periods of time, a problem of essential importance is to determine the zero point and to keep it in place. This is probably best done by placing a plate flat on the ground surface; this can be used as zero point or the measuring device can be attached to it.

For continual measurements of the depth of the ground water table self-registering meters, or limnigraphs, are in common use. The weak point of such devices is the float, which requires a relatively large ground water hole. A better solution is an electronic detector which indicates the fluctuations in the

depth of the ground water table as differences in tension; such a device can be given a very small diameter. The differences in tension can be conducted to a center, where they are converted into numerical series with the time intervals wanted.

When it is enough to determine only the duration of the depth of the ground water table, cheap automatic meters may be used. The prototypes of such meters are being tested at the Institute of Peatland Forestry, University of Helsinki. The question is about electrolytic and radioactive meters. In the use of the former type the level of the ground water table adjusts that of the electrolyte, and the thickness of the deposit formed in a certain place on the cathode indicates the duration of the ground water table at the corresponding depth in the soil. The latter device has a small cobalt cartridge which moves with a float, continuously exposing a film sensitive to radiation. With the aid of calibrated test exposures the duration of the ground water table can be read with some degree of accuracy.

ACTA FORESTALIA FENNICA

EDELLISIÄ NITEITÄ — PREVIOUS VOLUMES

- VOL. 102, 1969. PEKKA KILKKI and UNTO VÄISÄNEN.
Determination of the Optimum Cutting Policy for the Forest Stand by means of Dynamic Programming. Seloste: Metsiköo optimihakkuuohjelman määrittäminen dynaamisen ohjelmoinnin avulla.
- VOL. 103, 1970, YRJÖ ROITTO.
Fuelwood Consumption in the City of Monrovia (Liberia) in 1965. Samenvatting: Verbruik van brandhout in de stad Monrovia (Liberia) in 1965. Seloste: Polttopuun kulutus Monroviassa (Liberia) vuonna 1965.
- VOL. 104, 1970. LEO HEIKURAINEN and JUHANI PÄIVÄNEN.
The Effect of Thinning, Clear Cutting, and Fertilization on the Hydrology of Peatland Drained for Forestry. Seloste: Harvennuksen, avohakkuun ja lannoituksen vaikutus ojitetun suon vesioloihin.
- VOL. 105, 1970. LEO AHONEN.
Diskonttausarvo metsän hinnoitusinformaationa. Referat: Der Diskontierungswert als Information für die Preisschätzung des Waldes.
- VOL. 106, 1970. OLAVI LAIHO.
Paxillus involutus as a Mycorrhizal Symbiont of Forest Trees.
- VOL. 107, 1970. TAUNO KALLIO.
Aerial Distribution of the Root-Rot Fungus *Fomes annosus* (Fr.) Cooke in Finland.
- VOL. 108, 1970. YRJÖ ILVESSALO.
Metsiköiden luontainen kehitys- ja puuntuottokyky Pohjois-Lapin kivennäismailla. Summary: Natural Development and Yield Capacity of Forest Stands on Mineral Soils in Northern Lapland.
- VOL. 109, 1970. PÄIVIÖ RIIHINEN.
The Forest Owner and his Attitudes toward Forestry Promotion — *A Study Based on Forest Owners in Ostrobothnia, Finland.*
Seloste: Metsänomistaja ja hänen asenteensa metsätalouden edistämiseen — Pohjanmaan metsänomistajiin perustuva tutkimus.
- VOL. 110, 1970. YRJÖ VUOKILA.
Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Summary: Selection from Above in Intermediate Cuttings.
- VOL. 111, 1970. LALLI LAINE and MATTI NUORTEVA.
Über die antagonistische Einwirkung der insektenpathogenen Pilze *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. und *B. tenella* (Delacr.) Siem. auf den Wurzelschwamm (*Fomes annosus* (Fr.) Cooke).
- VOL. 112, 1970. PENTTI K. RÄSÄNEN.
Nostoajankohdan, pakkaustavan, varastointiajan pituuden ja kastelun vaikutuksesta männyn taimien kehitykseen. Summary: The Effect of Lifting Date, Packing, Storing and Watering on the Field Survival and Growth of Scots Pine Seedlings.

KANNATTAJAJÄSENET — UNDERSTÖDANDE MEDLEMMAR

CENTRALSKOGSNÄMNDEN SKOGSKULTUR

SUOMEN PUUNJALOSTUSTEOLLISUUDEN KESKUSLIITTO

OSUUSKUNTA METSÄLIITTO

KESKUSOSUUSLIIKE HANKKIJA

SUNILA OSAKEYHTIÖ

OY WILH. SCHAUMAN AB

OY KAUkas AB

RIKKIHAPPO OY

G. A. SERLACHIUS OY

TYPPI OY

KYMIN OSAKEYHTIÖ

SUOMALAISEN KIRJALLISUUDEN KIRJAPAINO

UUDENMAAN KIRJAPAINO OSAKEYHTIÖ

KESKUSMETSÄLAUTAKUNTA TAPIO

KOIVUKESKUS

A. AHLSTRÖM OSAKEYHTIÖ

TEOLLISUUDEN PAPERIPUUYHDISTYS R.Y.

OY TAMPELLA AB

JOUTSENO-PULP OSAKEYHTIÖ

TUKKIKESKUS

KEMI OY

MAATALOUSTUOTTAJAIN KESKUSLIITTO

VAKUUTUSOSAKEYHTIÖ POHJOLA

VEITSILUOTO OSAKEYHTIÖ

OSUUSPANKKIEN KESKUSPANKKI OY

SUOMEN SAHANOMISTAJAYHDISTYS

OY HACKMAN AB

YHTYNEET PAPERITEHTAAT OSAKEYHTIÖ