

FOLIA FORESTALIA 112

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1971

ERKKI AHTI

MAAVEDEN JÄNNITYKSEN MITTAAMISESTA
TENSIOMETRILLÄ

USE OF A TENSIOMETER IN MEASURING
SOIL WATER TENSION

- N:ot 1—18 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 1—41.
 Nos. 1—18 are listed in publications 1—41 of the Folia Forestalia series.
- N:ot 19—55 on lueteltu Folia Forestalia-sarjan julkaisuissa 19—96.
 Nos. 19—55 are listed in publications 19—96 of the Folia Forestalia series.
- 1969 No 56 Terho Huttunen: Länsi-Suomen havusahatukkien koko ja laatu vuonna 1966.
 The size and quality of coniferous sawlogs in western Finland in 1966. 1,50
- No 57 Metsäntutkimuslaitoksen päätös puutavaran mittauksessa käytettävistä muuntoluvuista ja kuutioimistaulukoista.
 Skogsforskningsinstitutets beslut beträffande omvandlingskoefficienterna och kuberingstabellerna, som används vid virkesmätning. 28,80
- No 58 Paavo Tiuhonen: Puutavaralajitaulukot 2. Maan eteläpuoliskon mänty, kuusi ja koivu.
- No 59 Paavo Tiuhonen: Puutavaralajitaulukot 3. Männyn ja kuusen uudet paperipuutaulukot.
- No 60 Paavo Tiuhonen: Puutavaralajitaulukot 4. Maan pohjoispuoliskon mänty ja kuusi. 2,—
- No 61 Matti Aitolahti ja Olavi Huikari: Metsäojien konekaivun vaikeusluokitus ja hinnoittelu.
 Classification of digging difficulty and pricing in forest ditching with light excavators.
- No 62 Kullervo Kuusela ja Alli Salovaara: Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan mestävarat vuonna 1968.
 Forest resources in the Forestry Board Districts of Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1968. 3,—
- No 63 Arno Uusvaara: Maan ja metsän omistus Suomessa v. 1965 alussa ja sen kehitys v. 1957—65.
 Land and forest ownerships in Finland 1965 and their development during 1957—65.
- No 64 Timo Kurkela: Haavanruosteen esiintymisestä Lapissa.
 Leaf rust on aspen in Finnish Lapland. 1,—
- No 65 Heikki Ravela: Metsärunko-ojien mitoitus.
 Dimensioning of forest main ditches. 1,50
- No 66 Matti Palo: Regression models for estimating solid wood content of roundwood lots.
- No 67 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1967—69.
 Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1967—69. 2,50
- No 68 Lauri Heikinheimo, Seppo Paananen ja Hannu Vehviläinen: Stumpage and contract prices of pulpwood in Norway, Sweden and Finland in the felling seasons 1958/59—1968/69 and 1969/70. 2,50
- No 69 U. Rummukainen ja E. Tanskanen: Vesapistooli ja sen käyttö.
 A new brush-killing tool and its use. 1,—
- No 70 Metsätilastollinen vuosikirja 1968.
 Yearbook of forest statistics 1968. 6,—
- No 71 Paavo Tiuhonen: Rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvat puutavaralajitaulukot.
- No 72 Olli Makkonen ja Pertti Harstela: Kirves- ja moottorisahakarsinta pinotavaran teossa.
 Delimbing by axe and power saw in making of cordwood. 2,50
- No 73 Pentti Koivulehto: Juurakoiden maasta irrottamisesta.
 On the extraction of stumps and roots. 1,50
- No 74 Pertti Mikkola: Metsähukkapuun osuus hakkuupoistumasta Etelä-Suomessa.
 Proportion of wastewood in the total cut in southern Finland. 1,50
- No 75 Eero Paavilainen: Tutkimuksia levityssajankohdan vaikutuksesta nopealiukoisten lannoitteiden aiheuttamiin kasvureaktioihin suometsissä.
 Influence of the time of application of fast-dissolving fertilizers on the response of trees growing on peat. 2,—
- 1970 No 76 Ukko Rummukainen: Tukkimiehentäin, Hylobius abietis L., ennakkotorjunnasta taimitarhassa.
 On the prevention of Hylobius abietis L. in the nursery. 1,50
- No 77 Eero Paavilainen: Koetuloksia suopeltojen metsittämisestä.
 Experimental results of the afforestation of swampy fields. 2,—
- No 78 Veikko Koskela: Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkaskuivumisvaurioista Kivisuon metsänlannoituskeokentällä.
 On the occurrence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo. 2,—
- No 79 Olavi Huikari—Pertti Juvonen: Työmenekki metsäojituksessa.
 On the work input in forest draining operations. 1,50
- No 80 Pertti Harstela: Kasausajan ja valtimonlyöntitiheyden sekä tehollisen sahausajan määrittäminen järjestettyjen kokeiden, pulssitutkimuksen ja frekvenssianalyysin avulla.
 Determination of pulse repetition frequency and effective sawing time with set tests pulse study and frequency analysis. 1,50
- No 81 Sulo Väänänen: Yksityismetsien kantohinnat hakkuuvuonna 1968—69.
 Stumpage prices in private forests during cutting season 1968—69. 1,—
- No 82 Olavi Huuri, Kaarlo Kytökorpi, Matti Leikola, Jyrki Raulo ja Pentti K. Räsänen: Tutkimuksia taimityypiluokituksen laatimista varten. I Vuonna 1967 metsänviljelyyn käytettyjen taimien morfologiset ominaisuudet.
 Investigations on the basis for grading nursery stock. I The morphological characteristics of seedlings used for planting in the year 1967. 1,50

FOLIA FORESTALIA 112

Metsäntutkimuslaitos. Institutum forestale Fenniae. Helsinki 1971

Erkki Ahti

MAAVEDEN JÄNNITYKSEN MITTAAMISESTA TENSIOMETRILLÄ

Use of a tensiometer in measuring soil water tension

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
SUMMARY IN ENGLISH	3
TIIVISTELMÄ	3
1. JOHDANTO	4
2. MAAVEDEN JÄNNITYS	4
3. TENSIOMETRI	6
31. Rakenne ja toiminta	6
32. Mittaaminen	6
4. ALUSTAVA KOE JYRSINTURPEELLA	6
41. Kokeen tarkoitus	6
42. Koejärjestely	6
43. Tulokset	7
5. MITTAUKSEN VIRHETEKIJÖISTÄ	8
6. KÄYTTÖMAHDOLLISUUKSISTA	10
KIRJALLISUUSLUETTELO	10

SUMMARY

The aim of this paper is to inform Finnish ecologists on the use of a mercury manometer tensiometer in measuring soil water tension.

The tensiometer in question, was developed and used in Switzerland by Prof. F. RICHARD, and has been described by BRÜLHART (1969). The present paper gives the results obtained from a preliminary experiment carried out in order to find out how this tensiometer works in peat soil.

In the experiment, a moisture equilibrium

was created above the water table in pots filled with peat; then, tensiometer readings were taken at various distances between the water table and the tensiometer cup, and finally, the values obtained compared with the values expected to be valid at equilibrium.

On the basis of the comparison carried out (table 2) no particular difficulties seem to be involved in using the tensiometer in peat soils, but it works just as well as in mineral soils.

TIIVISTELMÄ

Tässä julkaisussa käsitellään Suomessa toistaiseksi vähän käytettyä maan vesitalouden mittausten menetelmää, ns. tensiometrimittausta, joka erityisen hyvin soveltuu sellaisiin tutkimuksiin, joissa halutaan seurata maan vesitalouden vaihtelua ajan suhteen.

Tensiometrin toimintaperiaatteen ymmärtämisen helpottamiseksi esitetään laboratoriossa tehty koe, jossa pyrittiin selvittämään tensiometrin käyttäytyminen turpeessa suorittamalla mittauksia tunnetuissa kosteusolosuhteissa. Ko-

keessa tehtyjen mittaushavaintojen perusteella näyttää ilmeiseltä, että tensiometri reagoi turpeessa samalla tavalla kuin kivennäismaassa. Näyttää myös siltä, että kokeessa käytetyllä tensiometrimallilla päästään huomattavasti suurempiin tarkkuuksiin kuin aikaisemmin maasamme kokeilla tensiometrimalleilla.

Lopuksi pohditaan mittausten menetelmän käytökelpoisuutta eri tarkoituksiin ja esitetään eräitä sovellutusmahdollisuuksia.

1. JOHDANTO

Kasviekologisissa tutkimuksissa, joissa tavalisesti tarkastellaan eri kasvutekijöiden vaikutusasteiden ja kasvun suhdetta, keskeisiä kysymyksiä ovat

- tarkasteluun otettavien kasvutekijöiden valinta
- mitkä mitattavat suureet valitaan edustamaan kutakin kasvutekijää
- mittaustekniikka.

Kun kasviekologisen tutkimuksen kohteena on suo-ekosysteemi, on luonnollista, että maan (turpeen) vesitalous useinkin valitaan tutkittavaksi kasvutekijäksi. Yhtä selvää ei sen sijaan liene, mitkä maan vesitaloutta kuvaavat suureet valitaan mittausten kohteeksi, ja mitä mittaustekniikkaa tällöin käytetään.

Suomessa on tähän mennessä varsin monissa soiden vesitaloutta koskevissa tutkimuksissa käytetty vesitalouden kuvaajana pohjaveden pinnan syvyyttä (HEIKURAINEN 1971). Pohjaveden pinnan syvyys ei kuitenkaan kuvaa yläpuolellaan olevan maakerroksen vesitaloutta kovin tarkasti, ja sitä epätarkemmin, mitä paksummasta maakerroksesta on kysymys. Tarkempi kuva maan vesitaloudesta, mikäli sellaista tarvitaan, saadaan määrittämällä maanäytteistä vesipitoisuusarvoja tai tarkastelemalla maaveden energiasuhteita.

Seuraavassa tarkastellaan tensiometriperiaatetta, joka esitettiin USA:ssa jo 1940-luvulla (mm. L.A.RICHARDS), ja jolla mitataan ns. maaveden jännitystä.

2. MAAVEDEN JÄNNITYS

Määrittelyn selventämiseksi esitetään seuraava koetilanne:

Kuiva maanäyte asetetaan vapaan vesipinnan yhteyteen, jolloin näytteeseen ilmestyy kapillaarivoiman vaikutuksesta vettä. Jos näytteestä ei tapahdu haihtumista, veden nousu jatkuu, kunnes kapillaarivoima ja maan vetovoima eli gravitaatio ovat keskenään tasapainossa.

Tällaiseen voimatasapainossa olevaan maavesisysteemiin tuodaan vapaata vettä sisältävä säiliö, joka on huokoisen seinän välityksellä yhteydessä maaveteen.

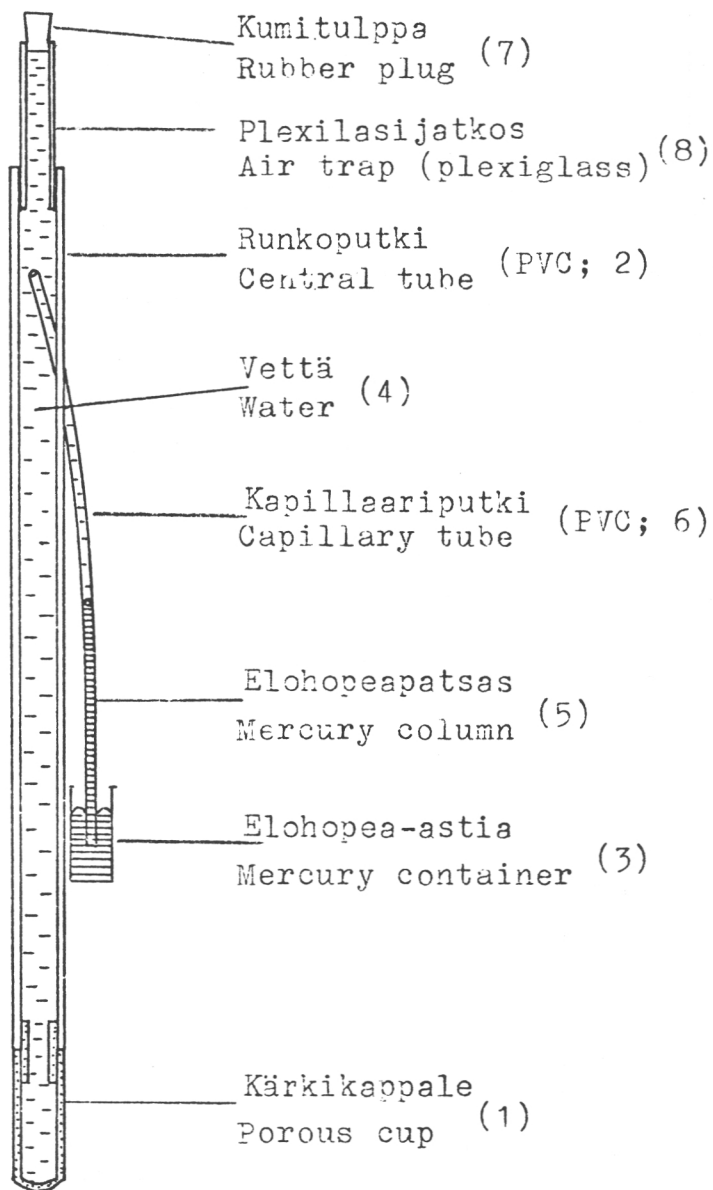
Säiliössä olevaan veteen vaikuttaa tällöin saman suuruinen gravitaatiovoima kuin samalla korkeudella olevaan maaveteen, mutta ei kapillaarivoimaa. Tämä merkitsee, että säiliössä olevalla vedellä on tietty määrä potentiaalienergiaa, joka on samansuuruinen kuin maaveden kapillaarienergia, mutta vaikutussuunnaltaan vastakkainen.

Maaveden jännitys on se negatiivinen (ulko-

seen ilmanpaineeseen nähden) paine, joka säiliössä olevaan vesiliuokseen on kohdistettava, jotta tämä liuos ja maassa oleva samanlainen liuos olisivat huokoisen, vettäläpäisevän seinän välityksellä keskenään energiatasapainossa (AITCHINSON 1965 s. 9).

Tämä määritelmä pätee myös sellaisessa tapauksessa, että maassa oleva vesi ei ole e.m. koetilanteen mukaisessa voimatasapainossa, vaan liikkuu joko kapillaari- ja gravitaatiovoimien tai muiden voimien vaikutuksesta (esim. haihtumisimu).

Maaveden jännityksen mittayksikkönä käytetään yleisesti vesisenttimetriä (cmH_2O), jolloin merkintä $n \text{ cmH}_2\text{O}$ tarkoittaa n cm korkean vesipatsaan painetta (analoginen yksikkö on tutumpi elohopeametri, mmHg). Yleisesti käytetty on myös pF-yksikkö (SCHOFIELD 1935), johon päästään cmH_2O :sta ottamalla logaritmi ($\log_{10}$).



Kuva 1. Tensiometrin rakenne.

Figure 1. Construction of the tensiometer.

3. TENSIOMETRI

31. Rakenne ja toiminta

Tensiometrimalleja on kehitetty varsin monia ja eri tarkoituksiin. Tässä käsitellään sveitsiläistä prof. F. RICHARDIN kehittämää mallia, jonka on kuvaillut myös BRÜLHART (1969).

Tensiometrin muodostaa umpinainen, vedellä täytetty putki (kuva 1, viite n:o 2), joka huokoisen, vettä läpäisevän kärjen (1) kautta on yhteydessä maaveteen. Maaveden jännityksen vaihtelut aiheuttavat putkessa olevan veden paineen vaihtelua. Kun rakenteeseen liitetään ohut, läpinäkyvä kapillaariputki (6), joka toisesta päästään on yhteydessä tensiometriputkessa olevaan veteen (4) ja toisesta elohopeastiaan (3), nähdään maaveden jännityksen vaihtelut kapillaariputkeen nousevan elohopeapatsaan (5) pituusvaihtelusta.

Rakenne on siis yksinkertainen ja myös halpa: materiaalikustannukset ilman indikaattorinestettä (tässä elohopeaa) ovat 10 mk:n suuruusluokkaa vaihdellen putken pituuden mukaan.

32. Mittaaminen

Mittaus tapahtuu lukemalla tutkittavaan syvyyteen työnnetyn tensiometrin runkoputkeen kiinnitetyltä asteikolta elohopeapatsaan yläpinnan korkeuslukema. Asteikon 0-kohta on valittu siten, että elohopeapatsaan korkeus = 0 silloin, kun tensiometrin kärkikappaleen keskipiste (mittauskohta) on pohjaveden pinnan kohdalla.

Lukemat ovat negatiivisia silloin, kun tensiometrin kärki on vapaan vedenpinnan alapuolella, ja vastaavat maaveden hydrostaattista painetta. Pohjaveden pinnan yläpuolella lukemat ovat positiivisia ja vastaavat maaveden jännitystä; ne voidaan yksinkertaisella laskutoimituksella muuntaa elohopeamillimetreistä (mmHg) vesisenttimetreiksi (cmH₂O).

4. ALUSTAVA KOE JYRSINTURPEELLA

41. Kokeen tarkoitus

Kun turpeesta tapahtuva haihtuminen estetään, on odotettavissa, että turpeessa pohjaveden pinnan yläpuolella oleva vesi hakeutuu tasapainotilaan, jossa veden liikkumisesta määrävät voimat ovat keskenään tasapainossa. Tällaisen tasapainon vallitessa on maaveden jännitys n cmH₂O pisteessä, jonka pystysuora etäisyys pohjavesipinnasta on n cm (esim. RICHARD 1963), eli maaveden jännitys voidaan määrittää mittaamalla tarkastelupisteen ja pohjaveden pinnan pystysuora etäisyys.

Kokeen tarkoituksena oli selvittää, toimiiko tensiometri turpeessa samalla tavalla kuin kiennäismassa. Periaatteena oli järjestää edellä kuvattua tasapainotilaa vastaavat kosteusolosuhteet, joissa maaveden jännitys voidaan määrittää metrimittalla, ja verrata näin saatuja arvoja tensiometrillä saatuihin.

42. Koejärjestely

Neljään 40 cm:n korkuiseen, sylinterinmuotoiseen astiaan (läpimitta n. 20 cm) pakattiin Finnhumus-jyrsinturvetta, jonka kosteus oli likimäärin kenttäkapasiteettia vastaava.

Haihtumisen estämiseksi turpeen pinta peitettiin muovikalvolla.

Pohjaveden pintaa astioissa voitiin säännöstellä JUUSELA-KAUNISTO-MUSTOSEN (1969) kuvaamalla menetelmällä. Kun seuraavassa puhutaan pohjaveden pinnasta, tarkoitetaan sitä vapaata vedenpintaa, joka syntyy turveastiassa olevaan rei'itettyyn muoviputkeen. (läpim. 5 cm).

Kuhunkin turveastiaan upotettiin Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla valmistettu, edellä kuvatus mukainen tensiometri.

Maaveden jännitys mitattiin jokaisessa astiasa pohjaveden pinnan ollessa 20, 15, 10 ja 5 cm

tensiometrin kärjen alapuolella, kärjen tasalla ja 5 cm sen yläpuolella (–5 cm), tässä järjestyksessä. Tasapainotilaan katsottiin pohjaveden pinnan nostamisen jälkeen päästyn silloin, kun tensiometrilukemat olivat kahden päivän ajan pysyneet muuttumattomina.

43. Tulokset

Tensiometrit, joiden asteikkojen 0-pisteiden

paikkoja ei ennen koetta määritetty kokeellisesti (jäljempänä käytetään nimitystä kalibrointi), koska arveltiin laskemalla (BRÜLHART 1969) päästävän riittävään tarkkuuteen, osoittavat eri pohjaveden syvyyksillä taulukossa 1 esitettyjä lukemia (muunnettu mmHg:stä cmH₂O:ksi kertomalla suhdeluvulla 13.0).

Taulukko 1. Tensiometrilukemat eri pohjaveden syvyyksillä.

Table 1. Tensiometer readings at various distances between the water table and the tensiometer cup.

Pohjaveden pinnan syvyys, cm Depth of water table, cm	Tensiometri No. – Tensiometer				Keskiarvo Mean
	1	2	3	4	
	Maaveden jännitys – Soil water tension cmH ₂ O				
– 5	– 2.7	– 1.3	+ 1.5	– 2.9	– 1.4
0	1.3	3.9	4.1	2.3	2.9
5	7.7	9.1	10.6	8.2	8.9
10	15.5	14.3	17.4	14.0	15.3
15	19.4	19.5	21.0	19.9	20.0
20	22.0	23.4	28.8	22.4	24.2

Havaitaan, että tensiometrilukemat ovat systemaattisesti suurempia kuin pohjaveden pinnan syvyysarvot. Edelleen esim. tensiometri n:o 3 on säännöllisesti näyttänyt muita korkeampia arvoja.

Koska tällaiset poikkeamat saattavat johtua

virheellisestä 0-pisteen paikan määrittämisestä, tensiometrit kalibroitiin jälkikäteen 5.2 cmH₂O:n hydrostaattisessa paineessa upottamalla kärkien keskipisteet 5.2 cm:n syvyyteen vapaaseen veteen. Saatiin seuraavan asetelman mukaiset lukemat ja korjausarvot (cmH₂O):

	Tensiometrin n:o			
	1	2	3	4
Tensiometrilukema	– 3.9	– 2.0	0.0	– 2.6
Oikea arvo	– 5.2	– 5.2	– 5.2	– 5.2
Korjausarvo	– 1.3	– 3.2	– 5.2	– 2.6

Havaittu systemaattinen poikkeama näyttää siis ainakin osittain johtuvan epätarkasta kalibroinnista. Kun taulukon 1 arvot korjataan

kalibrointimittauksessa saatujen lukemien perusteella, saadaan taulukon 2 mukainen havaintosarja.

Taulukko 2. Korjatut tensiometrulukemat eri pohjaveden syvyyksillä.

Table 2. Calibrated tensiometer readings at various distances between the water table and the tensiometer cup.

Pohjaveden pinnan syvyys, cm <i>Depth of water table, cm</i>	Tensiometri No. — <i>Tensiometer</i>				Keskiarvo <i>Mean</i>
	1	2	3	4	
	Maaveden jännitys — <i>Soil water tension</i> cmH ₂ O				
— 5	— 4.0	— 4.6	— 3.7	— 5.5	— 4.4
0	— 0.1	— 0.7	— 1.5	— 0.3	— 0.6
5	6.4	5.8	5.4	6.2	6.0
10	14.2	11.0	11.3	11.4	12.0
15	18.1	16.3	15.8	16.0	16.6
20	20.7	20.3	23.6	20.0	21.2

Kun tarkastellaan taulukon 2 lukuja, havaitaan, että suhteellisen harvat arvot poikkeavat pohjaveden syvyysarvoista enemmän kuin ± 1.3 cm, jota tässä pidetään lukemisvirheenä (vastaa 1 mmHg:ä). Syvyysarvojen suuremmat jännitys-arvot saattavat johtua siitä, että tasapainotilaa ei ole täysin saavutettu, tai siitä, että tensiometrin kärjen koko pinta ei ole ollut riittävän tiiviissä yhteydessä turpeeseen. Tässä ei kuitenkaan voida ratkaista, aiheutuvatko poikkeamat mittausvirheistä vai todellisista vesitalouzeroista.

Kokeen perusteella näyttää varsin ilmeiseltä, että tensiometri toimii turpeessa samalla tavalla kuin kivennäismaassa.

Kun kokeen tuloksia verrataan maassamme aikaisemmin tehtyihin vertailukelpoisiin kokeisiin, voidaan mittaustarkkuutta pitää, kun kysymyksessä ovat näinkin pienet maaveden jän-

nitykset, erinomaisena. PAAVILAINEN (1963) mainitsee vain, että hänen käyttämänsä tensiometrin mittaustarkkuus oli vähäinen. ja PÄIVÄNEN (1968), joka käytti ruotsalaista tensiometrimallia Oden, totesi laitteen pF-alarajaksi 1.3, mikä vastaa n. 20 cmH₂O.

Tässä kokeiltua tensiometrimallia voidaan käyttää yhtä hyvin pohjaveden pinnan ala- kuin yläpuolellakin, siis sekä hydrostaattisen paineen että maaveden jännityksen mittaamiseen, joten pF-alarajaa ei ole. Tensiometrin pF-yläraja on sama kuin muillakin malleilla, eli vajaan pF 3.0. Tämä raja aiheutuu siitä, että tensiometrin kärjessä olevaan veteen kohdistuvan ”imun” kasvaessa pF 3:ssa vallitsevaan yhteen ilmakehään (1 atm) kärjen huokosissa oleva vesi alkaa höyrystyä, jolloin laitteen yhteys maaveteen katkeaa ja se lakkaa toimimasta.

5. MITTAUKSEN VIRHETEKIJÖISTÄ

Tekijöitä, jotka saattavat aiheuttaa mittauslukemien vesitaloudesta riippumatonta vaihtelua, ovat mm.:

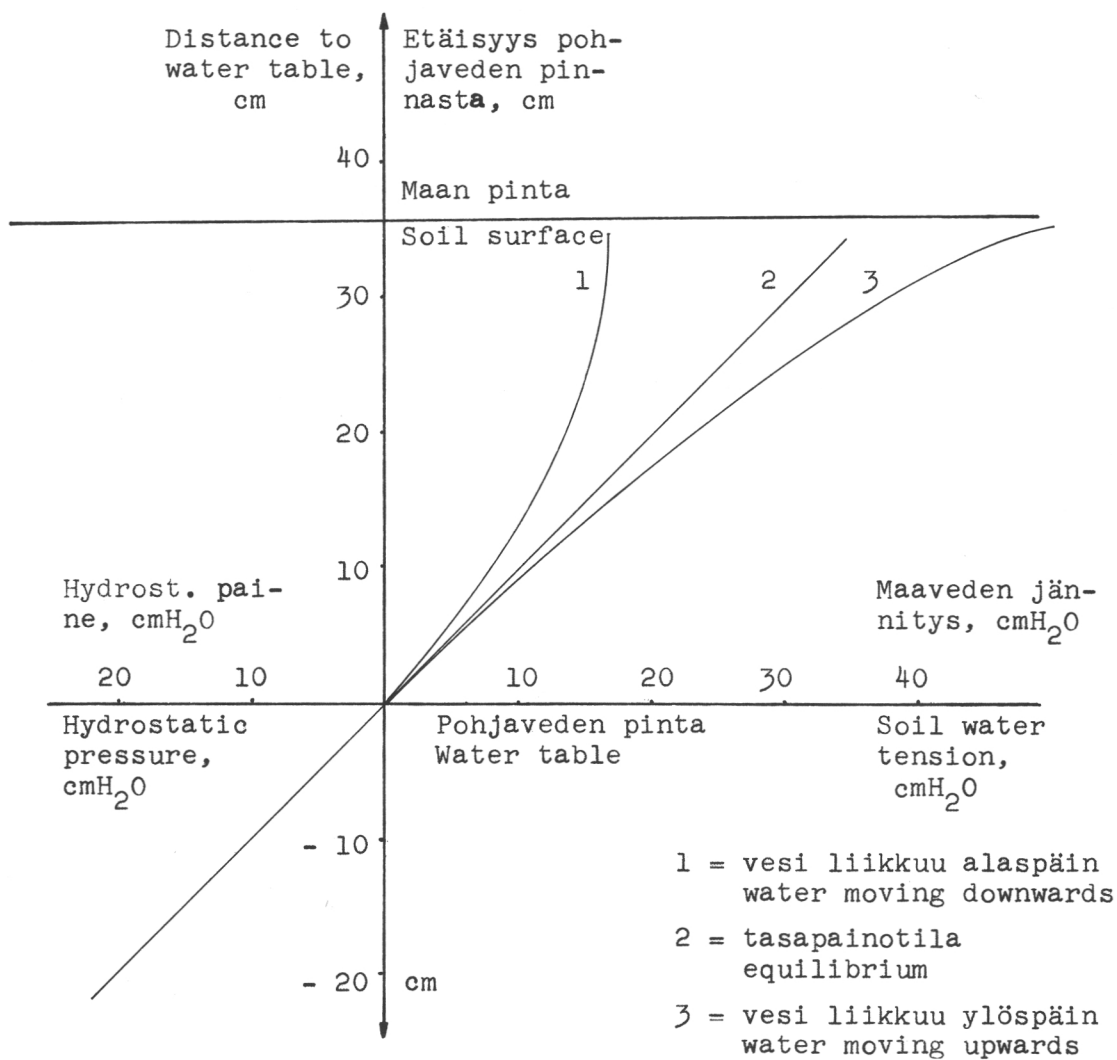
- lämpötilan vaihtelu
- tensiometriin päässyt ilma.

Lämpötilan vaihtelu aiheuttaa tensiometrissä tilavuuden muutoksia, jotka puolestaan saavat aikaan putkessa olevan veden paineenvaihtelua. Paineen muutokset eivät kuitenkaan liene pysyviä, vaan palautuvat, kun maaveden ja tensiometrissä olevan veden välinen paine-ero tasaan-

tuu kärkekkäälle kautta.

Koska lämpötilan vaikutusta ei ole vielä lopullisesti selvitetty, on tarkkoihin mittaustuloksiin pääsemiseksi toistaiseksi syytä pyrkiä suorittamaan sekä kalibrointi että mittaukset samassa lämpötilassa.

Jos tensiometrin putkeen taas pääsee ilmaa, paineen muutokset eivät ilmene vain elohopeapatsaan reaktioina, vaan myös laitteessa olevan ilman tilavuuden muutoksina, jolloin saadut lukemat eivät enää vastaa maaveden jännitystä.



Kuva 2. Maaveden jännityksen riippuvuus pohjavesipinnan etäisyydestä eri kosteusoloissa.
 Figure 2. The dependence between soil water tension and distance to water table under various moisture conditions.

6. KÄYTTÖMAHDOLLISUUKSISTA

Maaveden jännitys on fysikaalinen suure, joka välittömämmin kuin maan vesipitoisuus kuvaa maan vesitaloutta kasvien vedenoton kannalta.

Tensiometrin pF-mittausalue ei kuitenkaan ulotu niihin lukemiin, joissa maan vesitalouden on katsottu alkavan vaikuttaa kasvua hidastavasti, eli alueella pF 3.0 – pF 4.2 (mm. HEINONEN 1954).

Kasvien vedenottoon vaikuttavat myös maaveden osmoottiset ominaisuudet. Mitä suurempi maaveden suolakonsentraatio on, sitä suurempi on ns. osmoottinen jännitys, ja sitä vaikeampaa kasvin on irroittaa maasta vettä. Osmoottista jännitystä tensiometrillä ei kyetä mittaamaan.

Seuraavassa esitetään eräitä tensiometrimittauksen sovellutusmahdollisuuksia.

Sijoittamalla tensiometrejä eri syvyyksiin voidaan selvittää maaveden jännityksen vertikaalijakautuma. Menetelmää on käytetty menestyksellisesti mm. tutkittaessa maaveden jännityksen vuodenaikojen mukaista vaihtelua (BRÜLHART 1969).

Jos tunnetaan maaveden jännityksen vertikaalijakautuma, voidaan selvittää, liikkeuko maavesi ja mikä on sen liikesuunta. Edellä esitetystä tasapainotilasta, jossa maavesi ei liiku, maaveden jännityksen vertikaalijakautuman ku-

vaaja on suora (kuva 2).

Käyttämällä vielä hyväksi Darcy'n lakia (LUTHIN & RICHARD 1965)

$$\frac{Q}{A} = v = k \cdot i$$

jossa

Q = leikkauspinnan A kautta aikayksikössä virtaavan veden määrä (cm³/sek)

A = leikkauspinnan ala (cm²)

v = veden virtausnopeus (cm/sek)

i = maaveden energiagradientti

k = maan vedenläpäisevyyskerroin (cm/sek),

ja jos kyetään määrittämään maan vedenläpäisevyys (k) pohjaveden pinnan yläpuolella olevasta maakerroksesta, voidaan laskea veden liikkumisnopeus ja sitä kautta aikayksikössä tietyn leikkauspinnan kautta virtaavan veden määrä (Q). Tämä sovellutusmahdollisuus on kuitenkin toistaiseksi varsin teoreettinen, sillä maan vedenläpäisevyyskertoimen määrittäminen on vaikeaa.

Yleisesti voidaan sanoa, että tensiometri soveltuu maan vesitaloutta selvitteleviin mittauksiin etenkin silloin, kun kysymyksessä ovat maastomittaukset, ja kun on tarkoitus seurata maaveden jännityksen vaihtelua ajan suhteen.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- AITCHINSON, G. D. 1965. (ed.) Moisture equilibrium and moisture changes in soils beneath covered areas. A symposium in print.
- BRÜLHART, A. 1969. Jahreszeitliche Veränderungen der Wasserbindung und der Wasserbewegung in Waldböden des schweizerischen Mittellandes. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. 45, 2, 1969.
- HEIKURAINEN, L. 1971. Pohjavesipinta ja sen mittaaminen ojitetuilla soilla. Acta Forestalia Fennica, Vol 113.
- HEINONEN, R. 1954. Multakerroksen kosteus-suhteista Suomen maalajeissa. Agrogeol. julk. N:o 62.
- JUUSELA, T. & KAUNISTO, S. & MUSTONEN, S. 1969. Turpeesta tapahtuvaan haihduntaan vaikuttavista tekijöistä. Comm. Inst. For. Fenn. 67.1. Erip.
- LUTHIN, J. & RICHARD, F. 1965. Zur Untersuchung der Wasserbewegung in Hangböden mit unvollkommener Durchlässigkeit. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. 41, 6, 1965.
- PAAVILAINEN, E. 1963. Turpeen vesipitoisuudesta ja pohjavesipinnasta. Suo N:o 1, s. 8–9.
- PÄIVÄNEN, J. 1968. Tutkimuksia turpeen tilavuuspainosta, vedenläpäisevyydestä ja vedenpidätyskyvystä. Suomensäätieteen lisensiaattityö.
- RICHARD, F. 1963. Wasserhaushalt und Entwässerung von Weideböden. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. 39, 5, 1963.
- SCHOFIELD, R. K. 1935. The pF of water in soil. Trans. Third Internatl. Cong. Soil Sci. 2:37–48.

- No 83 Ole Oskarsson: Pluspuiden fenotyyppisessä valinnassa sovellettuja valinnan asteita.
Selection degrees used in the phenotypic selection of plus trees. 1,50
- No 84 Kari Keipi ja Otto Kekkonen: Calculations concerning the profitability of forest fertilization.
Laskelmia metsän lannoituksen edullisuudesta. 2,—
- No 85 S.—E. Appelroth — Pertti Harstela: Tutkimuksia metsänviljelytyöstä I. Kourukuokka, kenttälapio, tainivakka, taimilaukku sekä istutuskoneet Heger ja LMD-1 istutettaessa kuusta peltoon.
Studies on afforestation work I. The use of semi-circular hoe, the field spade, plant basket, plant bag and the Heger and LMD-1 tree planters in planting spruce in fields. 3,—
- No 86 Pertti Veckman: Metsäalan toimihenkilöiden koulutustarve 1970-luvulla.
Educational requirements of professional forestry staff in the 1970s. 4,—
- No 87 Michael Jones and David Cope: Economics Research in the Finnish Forest Research Institute, 1969—1974. 4,—
- No 88 Seppo Ervasti, Lauri Heikinheimo, Kullervo Kuusela ja Veikko O. Mäkinen: Forestry and forest industry production alternatives in Finland, 1970—2015. 6,—
- No 89 Risto Sarvas: Establishment and registration of seed orchards. 2,—
- No 90 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1968—70.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland in 1968—70. 5,—
- No 91 Pertti Harstela ja Teemu Ruoste: Kokonaisten puiden esijuonto kaksirumpuvintturilla käytävä- ja rivihaarvennuksessa. Laitteiden ja menetelmien kehittelyä sekä tuotokskeita.
Preliminary full-tree skidding by two-drum winch in strip and row thinning. 2,50
- No 92 Pentti Hakkila ja Pentti Rikonen: Kuusitukit puumassan raaka-aineena.
Spruce saw logs as raw material of pulp. 1,50
- No 93 Kari Löytyniemi: Havupunkin ja kuusen neulaspunkin torjunta.
Control of mites *Oligonychus ununguis* and *Nalepella haarlovi* var. *piceae-abietis*. 2,50
- No 94 Paavo Tiihonen: Puutavaralajitaulukot 5. Koivun uudet paperipuutaulukot.
Sortentafeln 5. Neue Papierholztafeln für Birke. 2,50
- No 95 Jorma Rajala: Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1964—68. 2,50
- No 96 Metsätalastollinen vuosikirja 1969.
Yearbook of forest statistics 1969. 8,—
- No 97 Juhani Numminen: Short-term forecasting of the total drain from Finland's forests.
Suomen metsien kokonaispoistuman lyhytjaksainen ennustaminen. 1,50
- No 98 Juhani Nousiainen, Jukka Sorsa ja Paavo Tiihonen: Mänty- ja kuusitukkipuiden kuutiomismenetelmä.
Eine Methode zur Massenermittlung von Kiefern- und Fichtenblochholz. 4,—
- 1971 No 99 Yrjö Vuokila: Harvennusmallit luontaisesti syntyneille männikoille ja kuusikoille.
Gallringsmallar för icke planterade tall- och granbestånd i Finland.
Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. 2,—
- No 100 Esko Leinonen ja Kalevi Pullinen: Tilavuuspaino-otanta kuitupuun mittauksessa.
Green density sampling in pulpwood scaling. 2,—
- No 101 IUFRO, Section 31, Working Group 4: Forecasting in forestry and timber economy. 5,—
- No 102 Sulo Väänänen: Yksityismetsien kantohinnat hakkuuvuonna 1969/70.
Stumpage prices in private forests during cutting season 1969/70. 1,—
- No 103 Matti Ahonen: Tutkimuksia kanto- ja juuripuun korjuusta I. Kokeilu puiden kaatamisesta juurakkoineen.
Studies on the harvesting of stumps and roots in Finland I. Experiment with the felling of trees with their rootstock. 2,—
- No 104 Ole Oskarsson: Plusmetsiköiden valintaero ja jalostusvoiton ennuste.
Selection differential and the estimation of genetic gain in plus stands. 1,50
- No 105 Pertti Harstela: Työjärjestyksen vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun teossa.
The effect of the sequence of work on the preparation of approximately 3-m, rough-limbed spruce pulpwood. 2,50
- No 106 Hannu Vehviläinen: Metsätyömiesten moottorisahakustannukset 1969—1970.
Power-saw costs of forest workers in 1969—1970 3,—
- No 107 Olli Uusvaara: Vaneritehtaan jätepuusta valmistetun hakkeen ominaisuuksista.
On the properties of chips prepared from plywood plant waste. 2,50
- No 108 Pentti Hakkila: Puutavaran vaurioitumisesta leikkuuterää korjuutyössä käytettäessä.
On the wood damage caused by shear blade in logging work. 2,—
- No 109 Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietintö.
Report of the committee on the costs of forest planting and seeding.
- No 110 Kullervo Kuusela — Alli Salovaara: Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsävarat vuosina 1969—70.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Kainuu, Pohjois-Pohjanmaa, Koillis-Suomi and Lappi in 1969—70.

- No 111 Kauko Aho ja Klaus Rantapuu: Metsätraktorien veto- ja nousukyvyistä rinteessä.
On slope-elevation performance for forest tractors. 2,—
- No 112 Erkki Ahti: Maaveden jännityksen mittaamisesta tensiometrillä.
Use of tensiometer in measuring soil water tension. 1,—