

# Maan fysikaalisten ominaisuuksien määrittäminen

Juha Heiskanen & Pekka Tamminen

---

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 424

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
Kirjasto



*Eera Paavilainelle*

*Helmik. 2, PT*

# Maan fysikaalisten ominaisuuksien määrittäminen

Juha Heiskanen & Pekka Tamminen

Metsäntutkimuslaitos, metsäekologian tutkimusosasto

---

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 424  
Helsinki 1992

Heiskanen, Juha & Tamminen, Pekka 1992. Maan fysikaalisten ominaisuuksien määrittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 424. 32s. ISBN 951-40-1240-2, ISSN 0358-4283.

Julkaisun tarkoituksena on koota Metsäntutkimuslaitoksessa käytettyjä maan fysikaalisten ominaisuuksien määrittämenetelmiä, kuten on jo tehty kemiallisten analyysien osalta (Halonen & Tulkki 1981, Halonen ym. 1983, Jarva & Tervahauta 1992). Perinteisen mekaanisen eli raekoostumusanalyysin lisäksi nyt esitellään tiheyden, vedenpidätyskyvyn ja vedenjohtokyvyn määrittämenetelmiä. Kuhunkin menetelmään liittyvää teoriaa on käsitelty lyhyesti viitaten alan julkaisuihin ja oppikirjoihin.

Juha Heiskanen on kirjoittanut luvut 1, 2.1, 4 ja 5 ja Pekka Tamminen luvut 2.2 ja 3. Eino Mälkönen luki käsikirjoituksen, ja Sari Elomaa viimeisteli sen.

Avainsanat: raekoostumus, vedenpidätyskyky, vedenjohtokyky

Kirjoittajan yhteystiedot: Pekka Tamminen: Metsäntutkimuslaitos, mesäekologian tutkimusosasto, PL 18, 01301 Vantaa. Juha Heiskanen: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema, 77600 Suonenjoki.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos; Hanke: 3090-4. Hyväksynyt: Eero Paavilainen, tutkimusjohtaja 7.9.1992.

Jakaja: Metsäntutkimuslaitos, mesäekologian tutkimusosasto, PL 18, 01301 Vantaa.

ISBN 951-40-1240-2

ISSN 0358-4283

Valtion painatuskeskus

Helsinki 1992

## Sisälllys

<b>1. Johdanto</b> .....	4
<b>2. Tiheys</b> .....	5
2.1 Aineistiheys.....	5
2.2 Tiheys .....	7
<b>3. Raakoostumus</b> .....	10
3.1 Yleistä.....	10
3.2 Seulonta.....	11
3.3 Pipetti- ja areometrimenetelmien perusteet ja näytteiden esikäsittely.....	13
3.4 Pipettimenetelmä.....	15
3.5 Areometrimenetelmä .....	17
<b>4. Vedenpidätyskyky</b> .....	20
4.1 Yleistä.....	20
4.2 Painelevymenetelmä .....	22
4.3 Imumenetelmä .....	24
<b>5. Vedenjohtavuus</b> .....	25
5.1 Yleistä.....	25
5.2 Läpivalutusmenetelmä .....	25
<b>Kirjallisuus</b> .....	27

## Liitteet

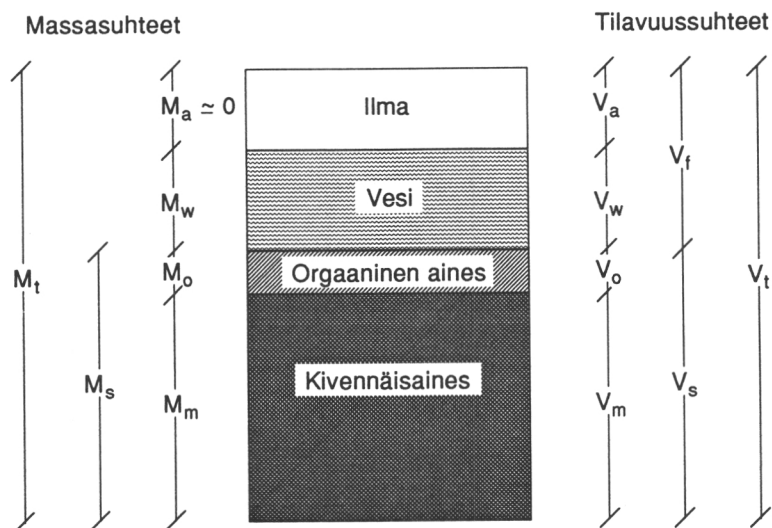
## 1. Johdanto

*Maafysiikka* on tiede, joka tutkii maan kiinteiden, nestemäisten ja kaasumaisten ainesosien mekaanista koostumusta, määräosuuksia ja liikesuhteita sekä energian eri muotoja ja virtoja maaperässä. Metsätieteessä maan fysikaalisia ominaisuuksia tutkitaan lähinnä metsä-ekologiselta ja -teknologiselta kannalta.

Laboratoriossa määritettävillä fysikaalisilla tunnuksilla voidaan kuvata vain osittain kasvualustan fysikaalisia ominaisuuksia. Yleensä pelkästään maan raekoostumanalyysi (Elonen 1971) kuuluu fysikaalisiin vakiomäärittämiin kasvupaikan ominaisuuksia tutkittaessa. Fysikaalisiin oloihin vaikuttavat maan ominaisuuksien lisäksi myös ulkoiset tekijät. Esimerkiksi kasvupaikan vesitalouteen vaikuttaa mm. topografia, kallion tai vettäläpäisemättömien maakerrosten esiintyminen, pohjavedenpinnan korkeus ja paikan keskimääräiset ja näyteen ottoa edeltäneet sadanta-haihduntasuhteet. Fysikaalisilla tunnuksilla voidaan kuitenkin kuvata vesitalouden ohella mm. maaperän kantavuutta, routivuutta, lämpöoloja sekä osin myös ravinteisuutta ja puuntuotoskykyä. Lisäksi metsämaita voidaan luokitella fysikaalisten tunnusten perusteella yhtenäisiin, mutta toisistaan poikkeaviin ryhmiin. Metsämaiden luokittelu on tarpeen niiden ominaisuuksien suuren vaihtelun vuoksi. Toisin kuin viljelysmailla, metsämaiden maalaji vaihtelee savesta soraan, maan pintakerros muodostuu vaihtelevan paksuisesta ja laatuista orgaanisesta kerroksesta, jonka alla voi esiintyä erilaisia maannoskerroksia.

Maatilavuus koostuu kolmesta eri ainefaasista eli olomuodosta (kiinteä, neste, kaasu). Kiinteä maa-aines muodostaa huokoisen *maamatriisin*, joka yleensä koostuu epäorgaanisesta kivennäisaineksesta, orgaanisesta aineksesta ja mikroeliöstöstä. Nestemäinen faasi on laimea vesiliuos, joka täyttää maahuokosia. Kaasumainen faasi on kaasuseos, joka täyttää huokostilavuudesta sen osan, jota vesi ei ole syrjäyttänyt (kuva 1). Yleensä kasvien kasvulle on pidetty edullisena, kun maatilavuudesta noin puolet on kiinteää ainesta ja toinen puoli on jakaantunut edelleen puoliksi veden ja ilman kesken (esim. Hillel 1982).

Maa-ainesten määräosuudet voidaan ilmaista massaan (gravimetriset) tai tilavuuteen pohjautuen (volumetriset). Näiden suhdelukujen (kuva 1) avulla voidaan kuvata maan fysikaalisia perusominaisuuksia.



Kuva 1. Periaatekaavio maan ainesosista ja niiden massa- ja tilavuussuhteista.

## 2. Tiheys

### 2.1 Ainestiheys

Maan *ainestiheys* ( $\text{g/cm}^3$ ) määritellään kuvan 1. mukaan seuraavasti:

$$(1) \quad \rho_s = M_s/V_s.$$

Kivennäismaan ainestiheys vaihtelee suhteellisen vähän, yleensä 2,6:sta 2,7:ään  $\text{g/cm}^3$ . Orgaanisen aineksen keskimääräisenä tiheytenä voidaan käyttää 1,5  $\text{g/cm}^3$  (esim. Hillel 1982, Päivänen 1982, Heiskanen 1992). Maanäytteen likimääräinen ainestiheys saadaan kaavan (2) avulla:

$$(2) \quad \rho_s = 1,5 M_o/M_s + 2,65 (1-M_o/M_s) \text{ (ks. kuva 1).}$$

Välineet:

- 50 ml pyknometrejä
- keitettyä, deionisoitua vettä
- vesihaude
- lämpömittari (0,5 °C tarkkuus)
- lämpökaappi
- vaaka (1 mg tarkkuus)

## Näytteiden esikäsittely

Näytteet voivat olla ilmakehisiä tai sitä kosteampia. Mikäli näyte sisältää suuria rakeita, voidaan näyte seuloa 2 mm:n seulalla tai orgaaninen maa kevyesti hienontaa esim. huhmaressa.

## Analyysin suoritus

Maanäytteen aineistiheyden tarkka määrittäminen perustuu pyknometrimenetelmään (esim. Blake & Hartge 1986b), jossa väliaineena on yleensä deionisoitu vesi, joka on lisäksi keitetty ilman poistamiseksi. Pyknometrin tarkka tilavuus mitataan täyttämällä pyknometri vedellä ja punnitsemalla se. Kun veden massa ja tiheys on lämpötilassa tiedetään, saadaan näiden suhdelukuna pyknometrissä olevan veden tilavuus tässä lämpötilassa. Tilavuudeltaan ja massaltaan tunnettuun puhtaaseen pyknometriin laitetaan ilmakehisiä näytteitä vajaa kolmasosa pyknometrin tilavuudesta. Pyknometri (korkki kiinnitettynä) näytteineen punnitaan. Pyknometrinäytteen massa korjataan kertomalla tekijällä (1-k), missä k = kosteusosuus. Kosteusosuus (k) saadaan rinnakkaisnäytteestä punnitsemalla ensiksi sen ilmakehisen massa sekä tämän jälkeen kuivatun (105 °C) ja eksikaattorissa jäädytetyn näytteen massa. Kosteusosuus (k) saadaan jakamalla näiden erotus ilmakehisen massalla.

Pyknometriin lisätään deionisoitua ja keitettyä vettä niin, että näyte selvästi peittyi. Pyknometriä keitetään vesihautteessa noin puoli tuntia, jonka jälkeen se saa jäähtyä huoneen lämpötilaan yön yli. Tämän jälkeen lisätään vettä niin, että pyknometri täyttyy ja asetetaan korkki varovasti kiinni. Pyknometri kuivataan ja punnitaan välittömästi. Pyknometrissä olevan veden lämpötila mitataan. Kokonaismassasta vähennetään pyknometrin ja näytteen massat, jolloin saadaan veden massa. Veden tilavuus saadaan jakamalla sen massa tiheydellä, joka riippuu lämpötilasta (liite 1). Näytteen tilavuus saadaan vähentämällä pyknometrin tilavuudesta veden tilavuus, johon luetaan mukaan näytteen sisältämä vesi. Maan aineistiheys on näytteen massan ja sen tilavuuden suhde. Pyknometrimäärittämisessä aineistiheys saadaan kaavalla (3).

$$(3) \quad \rho_s = \rho_l (M_{ps} - M_p) / ((M_{ps} - M_p) - (M_{psl} - M_{pl})), \text{ missä}$$

$\rho_s$  = näytteen aineistiheys, g/cm<sup>3</sup>,

$\rho_l$  = lisätyn veden tiheys, g/cm<sup>3</sup>,

$M_{ps}$  = pyknometrin + näytteen kuivamassa, g,

$M_p$  = pyknometrin massa, g,

$M_{psl}$  = pyknometrin + ilmakehisen näytteen + lisätyn veden massa, g,

$M_{pl}$  = vedellä täytetyn pyknometrin massa, g.



## 2.2 Tiheys

Maan *tiheys* ( $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{Mg/m}^3$ ) saadaan kaavalla:

$$(4) \quad \rho_b = M_g/V_t$$

Tiheys ilmaisee maanäytteen kuivamassan ( $M_g$ ) suhteen sen kokonaistilavuuteen ( $V_t$ ) (kuva 1). Kokonaistilavuus on tarkasti määriteltynä vedellä kyllästyneen näytteen tilavuus, joka saadaan määritettyä häiriintymättömästä, näytelieroön otetusta näytteestä. Turpoamattoman näytteen tilavuus voidaan myös määrittää, kun vesipitoisuus on alle kyllästysvesipitoisuuden. Usein maanäytteen tiheys onkin määritetty ns. kuiva-tuoretiheytenä, joka on kuivamassan ja tuoretilavuuden suhdeluku. On myös käytetty ns. irtotiheyttä, jossa vertailutilavuus perustuu kuivaan ja seulottuun tai jauhettuun näytteeseen (esim. Päivänen 1982, Niska 1986, Tamminen 1991).

Maan tiheyden lukuarvo on pienempi kuin aineistiheyden, koska tilavuuteen sisältyy huokostila. Siten tiheyteen vaikuttaa esim. tiiviyssaste ja rakenne. Maan tiheys on alimmillaan pinnassa ja nousee yleensä syvemmillä mentäessä sekä kangas- että turvemaassa. Kivennäismaan (raekoko alle 20 mm) tiheys on yleensä 0,5...2,0 ja orgaanisen maan 0,05...0,20  $\text{g/cm}^3$ .

Maan tiheyteen vaikuttava *huokoisuus* määritellään seuraavasti (kuva 1):

$$(5) \quad f = V_f/V_t$$

Huokoisuus on maan kokonaishuokostilan suhteellinen tunnus ja se on yleensä noin 0,3 - 0,6 (30-60 %). Orgaanisen maan huokostila on yleensä suurempi (80 - 98 %) (esim. Hillel 1982, Päivänen 1982). Huokostila saadaan laskettua tiheystunnuksien avulla seuraavasti:

$$(6) \quad V_f = (\rho_s - \rho_b)/\rho_s$$

Tiheyskäsite on metsämaan osalta ongelmallinen. On mm. määriteltävä, sisältääkö maa kaiken orgaanisen ja epäorgaanisen aineksen, vai jätetäänkö siitä pois esim. lohkareet, kivet, isot juuret tai maatumaton puuaines. Myös orgaanisten maakerrosten rajaaminen toisaalta elävän kasvillisuuden ja toisaalta kivennäismaan suhteen on usein vaikeaa. Arvioitaessa metsämaan

tiheyttä maa-ainekseksi luetaan yleensä sora ja sitä hienommat, läpimitaltaan alle 20 mm:n rakeet, ja maatunut orgaaninen aines. Tiheysnäytteeseen ei siis oteta mukaan kiviä, läpimitta 2...20 cm, isoja juuria tai maatumattomia puumaisia kappaleita. Koska useimmat laboratorio-analyysit tehdään kivennäismaanäytteiden alle 2 mm:n jakeesta, ilmaistaan kivennäismaan tiheyskin monesti vain tämän jakeen osalta, ts. alle 2 mm:n ilmakeivon näytteen massa jaetaan näytteen kokonaistilavuudella.

Vaikka maastossa tiheyden määrittystä vaikeuttaa mm. kangasmaiden kivisyys, maan kokonaistiheys pitäisi vaikeuksista huolimatta pyrkiä määrittämään, jotta maan sisältämät ainemäärät voitaisiin arvioida pinta-alayksikköä tai tietyn maakerroksen todellista tilavuutta kohti.

Yleisimmin määrättilavuiset näytteet otetaan maastossa terässylinterillä, jonka läpimitta on 50...80 mm ja korkeus 50 tai 100 mm. Sylinteri painetaan tai lyödään maahan pystysuoraan käyttämällä apuna teräksistä lyöntihattua. Näytesylinterin on upottava täysin maahan, ja näytteeseen ei hyväksytä mukaan kiviä tai isoja juuria. Tiheysarvion mahdollista harhaisuutta voidaan vähentää mm. päättämällä etukäteen, miten näytepisteen paikka siirretään esteiden kohdalla.

Kivisten ja karkeiden maiden tiheys voidaan määrittää esim. taulukon 1 tai yhtälön (7) avulla (Tamminen 1992). Tiheys voidaan määrittää myös arvioimalla lapiolla kaivettujen näytekuoppien tilavuus lasihelmiä, hiekkaa, nestettä tai ilmaa hyödyntävillä mittareilla (Blake & Hartge 1986a).

$$(7) \quad \rho_b(<20 \text{ mm}) = 1,523 - 0,190 \cdot \sqrt{OA} + 0,407 \cdot Syv, \text{ missä}$$

OA = orgaanisen aineen osuus, % ja

Syv = sylinterinäytteen (h=50 mm) keskisyvyys, m.

Taulukko 1. Raeläpimitaltaan alle 20 mm:n kivennäismaan tiheys ( $\text{g/cm}^3$ ) syvyyden ja orgaanisen aineen osuuden funktiona. Arvot perustuvat sylinterillä ( $d=72$  mm,  $h=50$  mm) kerättyihin kokoomanäytteisiin (3 osanäytettä).

Syvyys, cm	Orgaaninen aine, %					Keskim.
	0-1,5	-3,0	-6,0	-9,0	9,1-	
0-5	1,37	1,22	1,14	0,98	0,81	1,11
30-35	1,46	1,45	1,36	-	-	1,44
60-65	1,57	1,60	-	-	-	1,58

Aiemmin on käytetty yleisesti tiheydestimaattina alle 2 mm:n aineksen laboratoriossa määritettyä irtotiheyttä. Tämä arvioidaan joko 15 tai 25 ml:n näytemitalla siten, että mitta otetaan kukkuroilleen näytettä, koputetaan 10 kertaa mitan varteen ja jos näytettä on lisättävä, koputetaan vielä 2-3 kertaa, pyyhkäistään ylimääräinen näyte pois ja punnitaan näyte-erän massa. Toinen tapa määrittää irtotiheys on arvioida 100 g:n näyte-erän vaatima tilavuus 250 ml:n muovisylinterissä 20 kumialustaa vasten tehdyn koputuksen jälkeen. Nämä menetelmät sopivat parhaiten keskikarkeille maalajeille (Niska 1986).

Orgaanisen kerroksen tiheys voidaan määrittää ottamalla esim. 58 mm:n läpimittaisella sylinterillä 20 osanäytettä systemaattisesti sijoitetuista pisteistä, mittaamalla kunkin osanäytteen paksuus ja punnitsemalla kuivatun kokoomanäytteen massa. Kivennäismaan tiheys voidaan määrittää ottamalla sylinterillä ( $d=72$  mm,  $h=50$  mm) 3...5 osanäytettä, kuivaamalla kokoomanäyte ja punnitsemalla alle 20 ja 2 mm:n jakeiden massat.

Metsämaan ainemääriä arvioitaessa on otettava huomioon tiheyden lisäksi maassa olevat lohkareet, kivet ja mahdollisesti juuretkin, koska nämä eivät sisälly määrättilavuuseen näytteeseen. Kivien ja lohkareiden osuus määritetään erikseen Viron (1952) ns. painamis-menetelmällä. Kivien tilavuusosuus lasketaan yhtälöllä (8):

$$(8) \quad \text{Osuus} = 83 - 2,75 \cdot \text{Rassi, missä}$$

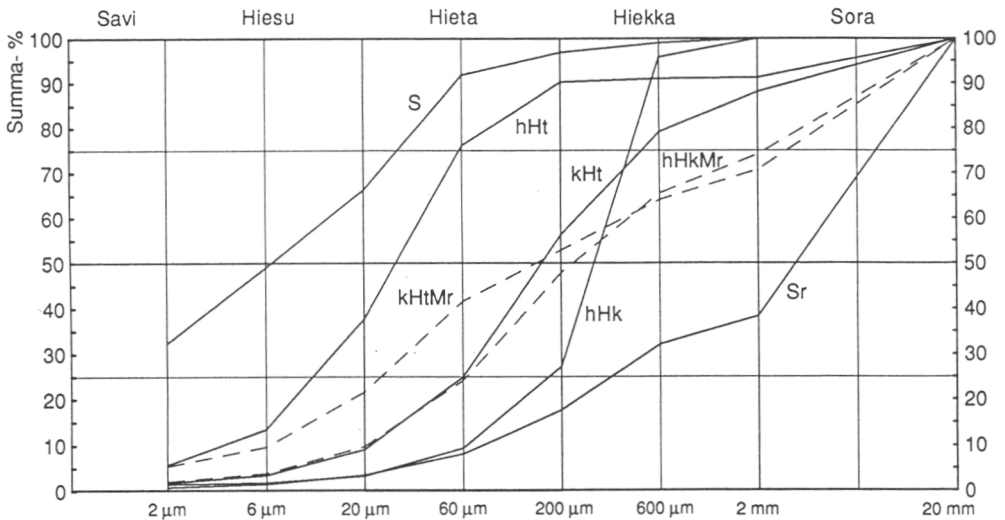
Osuus = kivien, lohkareiden ja kallion tilavuusosuus, % ja

Rassi = rassin ( $d=10$  mm) keskipainuma 30 cm:n kivennäismaakerrokseen.

### 3. Raekoostumus

#### 3.1 Yleistä

*Raekoostumuksella* kuvataan maanäytteen kivennäisrakeiden läpimittajakaumaa (ks. kuva 2). Raekoostumus ilmaistaan esim. yksittäisten lajitteiden massaosuuksina, summaprosentteina, keskiraekokona ja lajittuneisuusasteena. Maalajeja käytetään edelleen luokitusmuuttujina. Lajitteiden osuudet ja summaprosentit lasketaan metsämaille alle 20 mm:n aineksesta, ts. myös sora otetaan huomioon. Keskiraekoko tarkoittaa mediaaniraekokoa eli raeläpimitaa, joka jakaa näyteaineksen kahteen yhtä suureen osaan (kuva 2). Lajittuneisuus kuvaa näytteen jakautumista eri lajitteiden kesken. Lajittumaton näyte sisältää kaikkia lajitteita, kuten yleensä moreenit, ja voimakkaasti lajittunut, esim. lentohiekka, vain 2-3 lajitetta (ks. kuva 2). Lajittuneisuus ilmaistaan esim. indeksillä  $\sqrt{d_{75}/d_{25}}$ , missä  $d_{75}$  ja  $d_{25}$  ovat 75 ja 25 summaprosenttia vastaavat raeläpimitat. Indeksii sopii erityisesti karkeille ja keskikarkeille maille. Moreeneilla indeksin arvo on tavallisesti yli 3, lajittuneilla maille alle 3. Hienojen, alle 0,06 mm, lajitteiden osuus on yleensä yksittäisistä raekoostumustunnuksista käyttökelpoisin arvioitaessa maan viljavuutta.



Kuva 2. Erialaisten maalajien raekoostumus summaprosenttikäyrinä.

Raekoostumus voidaan määrittää sekä aistinvaraisesti että laboratorioanalyysillä. Aistinvaraisen arvioinnin etuna on sen nopeus laboratoriomäärittelyihin verrattuna, mutta arvioinnin luotettavuus riippuu merkittävästi arvioijan taidosta. Arviointitaitoa voidaan kuitenkin parantaa koulutuksella ja harjoittelulla. Arvioinnin luotettavuutta voidaan parantaa myös käyttämällä hyväksi vertailunäytteitä, erityisesti laboratorio-oloissa. Jos arvioija on kokenut ja työ tehdään kuivatuista näytteistä, voidaan arvioida maalajin lisäksi savilajitteen ja hienojen lajitteiden (alle 0,06 mm) kokonaisuus.

## 3.2 Seulonta

### Näytteiden esikäsittely

Maastosta tulleet näytteet kuivataan ilmakeiviksi ja punnitaan. Sitten näyte seulotaan 2 mm:n seulalla, koska laboratorioanalyysit tehdään alle 2 mm:n jakeesta. Näyte hienonnetaan varovasti, jotta kaikki alle 2 mm:n aines menisi seulan läpi. Savi ja hiesnäytteet on hienonnettava huumareella posliini- tai agaattikulhossa, muut näytteet 2 mm:n seulan päällä esim. pienellä muovilapiolla. Seulalle jäävät juuret ja muu orgaaninen aines lasketaan yleensä soralajitteeseen, koska orgaanisen aineksen merkitys on keveytensä takia vähäinen. Seulalle jäävä aines heitetään pois ja alle 2 mm:n aines punnitaan. Soran osuus saadaan koko näytteen ja alle 2 mm:n jakeen massojen erotuksena.

### Kuivaseulonta

Varsinaisessa seulonnassa käytetään seulasarjaa 0,6 - 0,2 - 0,063 mm. Seulojen läpimitta on yleensä 200 mm ja reunan korkeus 50 mm. Seulottavaa näytettä on oltava riittävästi, 20...50 g. Mitä karkeampaa maa on, sitä suurempi erä on seulottava, jotta myös karkeista lajitteista saadaan luotettava arvio. Seulottavan näytteen tulisi olla mahdollisimman vähähumuksista kivennäismaata. Kuivaseulonnassa näyte ei saisi sisältää enempää kuin 10 % alle 0,06 mm lajitteita eikä yli 3 % humusta. Seulonta-aika riippuu näytteen määrästä ja hienojen lajitteiden osuudesta. Suuri näytemäärä ja hienojen lajitteiden runsaus pidentävät tarvittavaa seulonta-aikaa. Tavallisesti 2...4 minuuttia riittää. Seulontahävikkiä (= seulottavaksi punnitun näytteen massa - seuloille jääneiden - alusastiaan joutuneiden jakeiden massat) ei yleensä oteta huomioon. Seulat puhdistetaan pensselillä, 0,063 mm:n seula hyvin varovasti.

Lajiterajoja vastaavat summaprosentit lasketaan siten, että vähennetään ensin 100:sta soran osuus, tästä karkean hiekan eli 0,6 mm:n seulalle jääneen jakeen osuus, tästä hienon hiekan osuus ja tästä karkean hiedan osuus. Jäännös edustaa hienojen, alle 0,06 mm:n jakeiden osuutta. Kuivaseulonta sopii harvoin metsämaille, koska näistä on keskimäärin 60...80 % moreeneita, joissa taas hienojen lajitteiden osuus on lähes aina yli 10 %. Hienojen lajitteiden osuus tulee helposti aliarvioitua, sillä savi- ja hiesulajitteet peittävät pölynä ja kalvoina karkeampia rakeita.

### Pesuseulonta

Pesuseulonta sopii useimmille maanäytteille, parhaiten karkeille ja keskikarkeille maille, joissa on vähän humusta. Näytteet voidaan käsitellä sellaisenaan, mutta luotettavampi tulos saadaan, jos näytteistä poistetaan orgaanista ainetta vetyperoksidilla.

Taarattuun 400 ml:n dekanterilasiin punnitaan 25 ml (20...45 g) alle 2 mm:n näytettä. Jos vetyperoksidiä ei käytetä, dekanterilasi täytetään vesijohtovedellä ja sekoitetaan. Näytteen annetaan seistä, kunnes se on vettynyt täysin. Sen jälkeen näytesuspensiota sekoitetaan, annetaan seistä 1...2 minuuttia, minkä jälkeen lasi kaadetaan varovasti tyhjäksi. Samalla orgaanisen aineksen ja hienojen lajitteiden määrä vähenee. Jos näytteessä on runsaasti orgaanista ainetta, lasi täytetään uudestaan vedellä ja kaadetaan hetken kuluttua taas tyhjäksi. Näyte huuhdotaan dekanterilasista 0,063 mm:n seulalle, jossa näytteestä pestään vesisuihkulla hienot lajitteet. Seulalle jäänyt näyte huuhdotaan 250 ml:n dekanterilasiin, joka saa seistä noin 1 minuutin, minkä jälkeen vesi kaadetaan varovasti pois. Dekanterilasi laitetaan kuivumaan. Kuivunut näyte jäädytetään ja seulotaan seulasarjalla 0,6 - 0,2 - 0,063 mm.

Vetyperoksidikäsitely tehdään samalla tavalla kuin pipetti- ja areometrinen menetelmien yhteydessä (ks. luku 3.3). Näytteen kiehattua vetyperoksidiliuoksessa 1,5 tuntia dekanterilasi otetaan levyltä, täytetään vesijohtovedellä, annetaan seistä 1 minuutin, minkä jälkeen vesi kaadetaan varovasti pois. Näyte huuhdotaan dekanterilasista 0,063 mm:n seulalle, jolla näytteestä pestään hienot lajitteet pois. Seulalta näyte huuhdotaan dekanterilasiin, josta vesi kaadetaan varovasti noin 1 minuutin kuluttua pois ja pannaan kuivumaan. Kuivunut näyte seulotaan seulasarjalla 0,6 - 0,2 - 0,063 mm.

Pesuseulonnalla voidaan määrittää keskiraekoko keskimäärin 80...90 %:lle metsämaista, lajittuneisuusastekin ( $\sqrt{d_{75}/d_{25}}$ ) 30...40 %:lle maista ja hienojen lajitteiden osuus kaikille näytteille. Määrittäminen pipetti- tai areometrinen menetelmällä vaatii noin kaksinkertaisen ajan pesuseulontaan verrattuna.

### 3.3 Pipetti- ja areometrinen menetelmien perusteet ja näytteiden esikäsittely

#### Perusteet

Hienojen lajitteiden määritysmenetelmät perustuvat ns. Stokesin lakiin (9), jonka mukaan maahiukkaset laskeutuvat väliaineessa nopeudella:

$$(9) \quad v = (2 \cdot g \cdot r^2 (\rho_1 - \rho_2)) / (9 \cdot \text{vis}), \text{ missä}$$

$v$  = hiukkasen laskeutumisnopeus, cm/s

$g$  = kiihtyvyyssvakio, 981 cm/s<sup>2</sup>,

$r$  = hiukkasen säde, cm,

$\rho_1$  = hiukkasen tiheys = 2,65 g/cm<sup>3</sup>,

$\rho_2$  = väliaineen (veden) tiheys, g/cm<sup>3</sup> ja

$\text{vis}$  = väliaineen viskositeetti, P.

Toisin sanoen mitä painavampi hiukkanen on, sitä nopeammin se vajoaa. Kaavalla voidaan laskea vastaavasti hiukkasen läpimitta (yhtälö 10) tietyllä syvyydellä, tietyn ajan kuluttua suspension sekoittamisen loppumisesta:

$$(10) \quad d = 2 \cdot \sqrt{(9 \cdot l \cdot \text{vis}) / (2 \cdot a \cdot g (\rho_1 - \rho_2))}, \text{ missä}$$

$d$  = hiukkasen läpimitta, cm

$l$  = mittaussyvyys, cm ja

$a$  = laskeutumisaika, s (ks. taulukko 2)

tai tietyn kokoisen hiukkasen laskeutumisaika (yhtälö 11) tietylle syvyydelle:

$$(11) \quad a = 9 \cdot l \cdot \text{vis} / (2 \cdot g \cdot r^2 (\rho_1 - \rho_2)).$$

Sedimentaatioon perustuvissa menetelmissä oletetaan, että läpimitta kuvaa hiukkasen kanssa samalla nopeudella vajoavan pallomaisen hiukkasen läpimittaa ja että kivennäismaahiukkasten ainestiheys on 2,65 g/cm<sup>3</sup>. Veden tiheys ja viskositeetti saadaan taulukoista (CRC Handbook... 1981, ks. liite 1) tai taulukkoarvoista lasketuilla yhtälöillä (12) ja (13):

$$(12) \quad \rho_{\text{vesi}} (\text{g/cm}^3) = 1,000292 - 0,5147 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \text{ ja}$$

$$(13) \quad \text{vis} (P) = 0,016667 - 0,4193 \cdot 10^{-3} \cdot t + 0,43526 \cdot 10^{-5} \cdot t^2, \text{ missä}$$

$t$  = veden lämpötila, °C.

Sedimentaatioon perustuvilla menetelmillä voidaan määrittää lajitteiden osuudet 0,6:sta 60 mm:iin, ts. saviin, hiesujen ja hienon hiedan osuudet.

### Näytteiden esikäsittely

#### Välineet:

- 10 dekantterilasia, 400 ml
- 10 kellolasia ja lasisauvaa
- mittalasi, 100 ml
- 25 ml:n annostelija
- muovisuppilo
- vesihaude tai sähkölevy
- vesi-imu

#### Kemikaalit:

- tislattua- ja vesijohtovettä
- vetyperoksidia ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), 30 %
- suolahappoa (HCl), 0,2 M
- natriumpyrofosfaattia ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), 0,1 M (=44,6 g/l).

Raekoostumus pyritään määrittämään mahdollisuuksien mukaan vähähumuksisista näytteistä. Silti näytteet on esikäsiteltävä, jotta määritys kohdistuisi erillisiin ja puhtaisiin kivennäismaahiukkasiin. Orgaaninen aines poistetaan seuraavasti (vrt. Elonen 1971, s. 51).

Punnitaan 15 (25) ml (15...40 g) alle 2 mm:n näytettä 400 ml:n dekantterilasiin. Lisätään vettä niin paljon, että näyte peittyy. Kuumennetaan suspensio 70...80 °C:een, lisätään 25 ml vetyperoksidia ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ja peitetään dekantterilasi kellolasilla. Ylikuohuminen estetään sekoittamalla näytettä lasisauvalla, lisäämällä ruiskupullolla kylmää vettä, lisäämällä muutama tippa amyylialkoholia tai ottamalla dekantterilasi levyltä. Jos näytteessä on runsaasti humusta, lisätään kiivaimman kuohumisvaiheen jälkeen toinen erä vetyperoksidia. Kun näyte on kiehunut 1,5 tuntia, se otetaan pois levyltä. Dekantterilasiin lisätään 100 ml suolahappoa (HCl), sekoitetaan, ja 2...3 minuutin kuluttua dekantterilasi täytetään vedellä. Lasisauvasta ja kellolasista pestään niihin tarttuneet maa-ainekset dekantterilasiin. Lasisauva otetaan pois ja dekantterilasi peitetään kellolasilla. Näyte saa seistä yön yli. Aamulla neste imetään vesi-imulla pois mahdollisimman tarkkaan, lopussa dekantterilasia varovasti kallistaen. Näyte huuhdotaan dekantterilasista supillon ja ruiskupullon avulla 500 ml:n mittalasiin, jonne sen jälkeen lisätään 25 ml 0,1 M natriumpyrofosfaattia ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Mittalasi täytetään tislattulla vedellä merkkiin. Näytesuspensio on nyt valmis varsinaiseen analyysiin.



### 3.4 Pipettimenetelmä

Välineet:

- 10 mittasyylinteriä, 500 ml
- sekoitusmäntä
- lämpömittari
- sekunttikello
- 30 upokasta, 30...50 ml
- pipetointilaite, jossa 20 ml:n pipetti
- lämpökaappi
- 10 dekantterilasia, 250 ml
- muovisuppilo
- 0,063 mm:n seula
- vaaka (1 mg tarkkuus)

Analyysissä käytetään 20 ml:n pipettiä, joka on kiinnitetty pöydällä seisovaan tai liikkuvaan telineeseen. Pipetin varteen merkitään 4 ja 15 cm:n imusyvyyksiä osoittavat merkit. Keskimääräinen imusyvyys on em. nimellisyvyys + puolet imun aiheuttaman nestepinnan alenemisesta. Esimerkiksi imettäessä 20 ml:n pipetillä 500 ml:n mittalasista nestepinta alenee 1,1...1,6 cm, mikä vastaa 20...30 ml:n nestetilavuutta. Tällöin pipetin varteen tehdään em. imusyvyyksiä vastaavat merkit 4,7 ja 15,7 cm:n etäisyydelle pipetin kärjestä. Suspensiota sekoitetaan sylinterin läpimittaa noin 5...7 mm pienemmällä männällä. Mäntälevy kiinnitetään ruuvilla muovivarteen, ja mäntälevyyn tehdään neljä reikää. Suspension sekoitus aloitetaan lyhyillä, nopeilla vedoilla, jotta pohjaan laskeutunut näyte saadaan liikkeelle, ja sekoitusta jatketaan pitkillä, rauhallisilla vedoilla.

Ennen näytesuspensioiden pipetointia kuivat upokkaat punnitaan ja upokkaiden massat merkitään lomakkeelle. Pipetointierän (20 ml) sisältämän natriumpyrofosfaatin määrä määritetään puhtaasta, vain pyrofosfaattia sisältävästä 0-suspensiosta. Määritys tehdään aina, kun valmistetaan uusi erä pyrofosfaattia. Ennen pipetointia upokkaat siirretään mittasyylintereiden lähelle ja näytesuspension lämpötila mitataan pipetointiaikojen määrittämiseksi (taulukko 2).

Taulukko 2. Pipetointiajat. Imusyvyyys (cm) ilmaistu suluissa.

Lämpötila, °C	Hiukkasen läpimitta, $\mu\text{m}$			
	60 (15)	20 (4)	6 (4)	2 (4)
	s	min.s	min.s	h.min
18	49	1.57	21.40	3.15
19	48	1.54	21.10	3.11
20	46	1.51	20.40	3.06
21	45	1.49	20.10	3.01
22	44	1.46	19.40	2.57
23	43	1.44	19.10	2.53
24	42	1.41	18.50	2.49
25	41	1.39	18.20	2.45
26	40	1.37	18.00	2.41
27	39	1.35	17.30	2.38
28	39	1.33	17.10	2.34
29	38	1.31	16.50	2.31
30	37	1.29	16.30	2.28

Varsinainen analyysi alkaa siten, että näytettä sekoitetaan männällä 20...40 s, minkä jälkeen mäntä nostetaan 0-hetkellä ylös suspensiosta ja huuhdotaan nopeasti männän yläpinnalle mahdollisesti jääneet hiukkaset takaisin suspensioon. Näytteet imetään pipetillä suspensiosta siten, että saadaan 60, 20, 6 ja 2  $\mu\text{m}$ :n hiukkasläpimittoja vastaavat summaprocentit, ts. näitä läpimittoja pienempien hiukkasten osuudet. Metsämaanäytteiden keskimääräisen karkeuden takia jätetään yleensä 6  $\mu\text{m}$  vastaava pipetointi pois ja ko. summaprocentti lasketaan 20 ja 2  $\mu\text{m}$ :n arvojen avulla.

Pipetti lasketaan imusyvyyteen noin 30 s ennen imuhetkeä, joka selvitetään taulukosta ennen pipetointia. Imu on aloitettava noin 2 s ennen teoreettista aikaa, koska imu kestää 4...5 s. Tällöin imun ajankohta on keskimäärin oikea. Tämä on tärkeää erityisesti 60  $\mu\text{m}$ :n kohdalla. Pipetti tyhjennetään ja huuhdotaan upokkaaseen ja ylimääräinen osa imetystä suspensiosta lasketaan jätesäiliöön. 20  $\mu\text{m}$ :n pipetoinnin suorittamiseksi pipetti lasketaan välittömästi takaisin suspensioon oikealle syvyydelle (4 cm) ja pipetoidaan oikealla hetkellä toinen kerta. Sen jälkeen sekoitetaan toinen sylinteri ja pipetoidaan kaksi ensimmäistä kertaa, siis läpimittoja 60 ja 20  $\mu\text{m}$  vastaavat pipetoinnit. Pipetoitaessa kolme kertaa, 60, 20 ja 2  $\mu\text{m}$ :n pipetoinnit, voidaan uusi näyte sekoittaa 5 minuuttia edellisestä, harjaantumisen jälkeen 3 minuutin välein.

Näin sekoitus, 1. ja 2. pipetointi seuraavat toisiaan, kunnes koko sarja, yleensä 10 näytettä, on käyty läpi. Savilajitteen (raekoko alle 2  $\mu\text{m}$ ) pipetointi alkaa noin 3 tuntia sekoituksen päättymisestä. Hyvissä ajoin ennen viimeistä pipetointia mitataan suspensioiden lämpötila oikean pipetointiajan määrittämiseksi. Aika arvioidaan aloitus- ja lopetushetken lämpötilojen keskiarvon perusteella. Sylintereitä ei saa alkusekoituksen jälkeen liikutella eikä hiukkasten laskeutumista häiritä esim. lämpömittarilla sekoittamalla tai analyysipöytää tärisyttämällä.

Upokkaat kuivataan yön yli, annetaan jäähtyä laboratoriopöydällä noin 10 minuuttia ja punnitaan 1 mg:n tarkkuudella. Sen jälkeen upokkaat pestään ja pannaan kuivumaan seuraavaa analyysisarjaa varten.

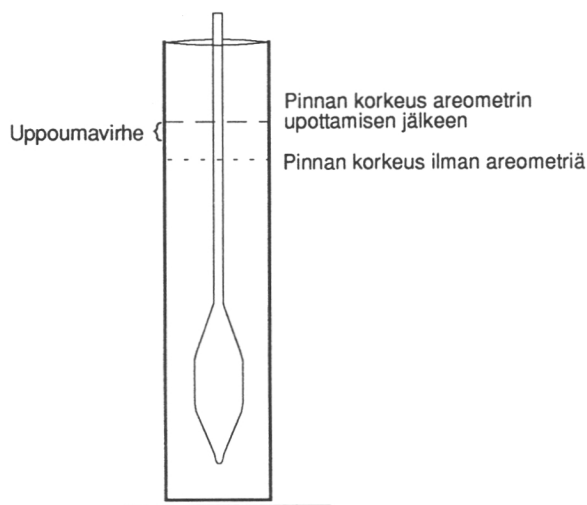
Viimeisen pipetoinnin jälkeen näytesuspensio kaadetaan 0,063 mm:n seulalle, ja hieno aines huuhdellaan seulan läpi vesisuihkulla. Näyte huuhdetaan seulalta dekanterilasiin, joka saa seistä noin 1 minuutin. Vesi kaadetaan varovasti pois, ja dekanterilasi pannaan kuivumaan. Kuivunut näyte seulotaan seulasarjalla 0,6 - 0,2 - 0,063 mm. Analyysitiedot kirjataan lomakkeelle ja tulokset lasketaan tietokoneella. Lomakemalli ja esimerkkituloste on esitetty liitteissä 2 ja 4. Laskentaohjelma on saatavissa metsäekologian tutkimusosastolta. Tuloste sisältää summaprosentit lajitteittain, keskiraekoon ( $\mu\text{m}$ ) ja lajittuneisuusindeksin  $\sqrt{d_{75}/d_{25}}$  sekä näytteen irtotiheyden.

### 3.5 Areometrinen menetelmä

Ennenkuin areometri otetaan käyttöön, on määritettävä mittaukseen ja laskentaan vaikuttavia tunnuksia. Aluksi määritetään areometrin tilavuuskeskipiste. Jos areometrin sukkula on symmetrinen, tilavuuskeskipiste on likimain sukkulan puolivälissä. Esimerkiksi Casagrande-areometrillä ao. piste on 8,0 cm:n päässä sukkulan alapäästä. Jotta tiheyden mittaussyvyys voidaan määrittää, mitataan lukemien 1,0500 ja 1,0000 etäisyydet tilavuuskeskipisteestä, ja lasketaan regressioyhtälö, jolla etäisyys arvioidaan tiheyslukeman perusteella. Esimerkiksi Casagrande-areometrille ko. yhtälö on:  $\text{syvyys}(\text{cm}) = 216 - 196 \cdot \text{tiheyslukema} (\text{g}/\text{cm}^3)$ .

Kun sukkula upotetaan suspensioon, nousee nesteen pinta sitä korkeammalle, mitä syvemmälle areometri asettuu ja mitä kapeampi mittasylinteri on. Tämä uppoumavirhe (kuva 3) areometrin tiheyslukemassa on puolet areometrin aiheuttamasta nestepinnan noususta. Nestepinnan nousu mitataan upottamalla areometri lukemaa 1,0000 myöten nesteeseen. Esimerkiksi Casagrande-

areometrille ja 500 ml:n mittasyylinterille ( $d=4,8$  cm) uppoumavirhe on 1,5 cm. Todellinen mittaussyvyys saadaan vähentämällä uppoumavirhe nimellisestä mittaussyvyydestä. Esimerkiksi jos lukema = 1,000, nimellinen mittaussyvyys =  $216-196 \cdot 1,000 = 20,0$  cm ja todellinen syvyys =  $20,0-1,5 = 18,5$  cm.



Kuva 3. Areometrin uppoumavirhe.

Työn suoritus alkaa punnitsemalla 25 ml (20...45 g) alle 2 mm:n näytettä 400 ml:n dekantterilasiin. Näyte esikäsitellään kuten pipettimenetelmässä (luku 3.3). Kun näytesuspensio on valmis, sekoitetaan suspensiota männällä 20...40 s, minkä jälkeen mäntä nostetaan ylös ja huuhdotaan. Suspension tiheys mitataan areometrillä 5 minuutin sekä 1, 5 ja 23 tunnin kuluttua määrittämisen alkamisesta. Viimeinen mittaus (23 h) tehdään vain näytteistä, joissa alle 3 mm hienompia hiukkasia on yli 15 % alle 2 mm:n aineksesta. - Jos näyte-erän massa on 30...35 g, on 5 tunnin tiheyslukema tällöin yli 50 g/l. - Savilajitteen määrä arvioidaan laskennallisesti muille näytteille 1 ja 5 tunnin arvojen perusteella.

Koska areometrimenetelmässä käytetään 0-suspension tiheyttä vertailuarvona, sekoitetaan nollasuspensio huolellisesti ennen mittausten alkua ja sen lämpötila ja tiheys mitataan ennen kutakin näytteiden mittauskierrosta ja tiheys mitataan lisäksi vielä kunkin mittauskierroksen jälkeen. Näiden tiheyksien keskiarvoa käytetään 0-liuoksen tiheytenä kullakin mittauskerralla. Areometriä säilytetään mittausten välillä 0-suspensiossa. Kaikki tiheyslukemat arvioidaan  $0,0001 \text{ g/cm}^3$ :n eli 1 g/l:n tarkkuudella areometrin asteikon 5 g/l:n viivojen avulla.

Lomakkeelle merkitään lukeman kolme viimeistä desimaalia. Tiheyslukemat ovat käytännössä välillä 0,9990...1,0300 g/cm<sup>3</sup> eli 990...300. Kun näyte-erän massa on 35 g, suspension tiheyden mittaustarkkuus 0,0001 g/cm<sup>3</sup> vastaa 0,2 %-yksikköä. Tiheyslukema luetaan areometrin varren pintajännityspatsaan yläreunassa heikosti näkyvän valojuovan avulla. Siksi työpyöhdän yläpuolella on oltava riittävän tehokas valaisin. Tiheyslukema on luettava aina samalla tavalla.

Areometri on laskettava suspensioon ja nostettava sieltä hyvin varovasti, jotta sedimentaatio ei häiriintyisi. Areometrin voi laskea suspensioon 45...30 s ennen lukemisajankohtaa.

Sekoitusta ja lukemien arviointia on harjoiteltava valmiilla näytteillä ennen varsinaista analyysia. Jotta systemaattiset virheet paljastuisivat ennen rutiinianalyyysien aloittamista, on syytä määrittää hienojen lajitteiden osuus samoista näytteistä ensin areometri- ja sitten pipettimenetelmällä - ensimmäisenä päivänä areometrimittaus ja toisena pipetoinnit samasta suspensiosta.

Viimeisen mittauksen jälkeen näytesuspensiosta pestään 0,063 mm:n seuloilla hienot ainekset pois, näyte huuhdotaan 250 ml:n dekanterilasiiin, josta vesi kaadetaan hetken kuluttua pois, ja näyte laitetaan kuivumaan dekanterilasissa. Kuivunut näyte seulotaan seulasarjalla 0,6 - 0,2 - 0,063 mm ja seuloille jääneet fraktiot punnitaan ja massat merkitään lomakkeelle. Lomakemalli ja esimerkkituloste on esitetty liitteissä 3 ja 4. Laskentaohjelma on saatavissa metsäekologian tutkimusosastolta. Tuloste sisältää summaprocentit lajitteittain, keskiraekoon (µm) ja lajittuneisuusindeksin  $\sqrt{d_{75}/d_{25}}$  sekä näytteen irtotiheyden. Ohjelma arvioi orgaanisen aineen poiston ja seulontahävikin aiheuttaman näytemassan alenemisen kertomalla analyysiin punnitun näyte-erän massan luvulla 0,97. Mutta jos kunkin näytteen orgaanisen aineen osuus on tiedossa, korjauskerroin saadaan yhtälöllä (14). Näytemassan muunnos on tehtävä ennen raekoostumustunnusten laskentaa.

$$(14) \quad \text{Kerr} = 0,9955 - 0,978 \cdot \text{OA}, \text{ missä}$$

Kerr = korjauskerroin ja

OA = orgaanisen aineen osuus, %.

Edellämäinituilla laskentaohjelmilla (VAX-FORTRAN) PIPETTI.for ja AREOMETRI.for lasketaan alle 2 mm:n jakeen raekoostumustunnukset. Alle 20 mm:n jakeen, siis myös soran sisältävän näytteen raekoostumus on laskettava erikseen esim. ohjelmalla RAE.for, joka tarvitsee paitsi em. alle 2 mm:n raekoostumustunnukset myös alkuseulonnan punnitustiedot: koko näytteen massan ja alle 2 mm:n jakeen massan. Myös RAE.for on saatavissa metsäekologian tutkimusosastolta.

## 4. Vedenpidätyskyky

### 4.1 Yleistä

*Vedenpidätyskyvyllä* tarkoitetaan näytteen vesipitoisuutta ( $V_w/V_t$ ,  $M_w/M_t$ , kuva 1) eri matriisipotentialien arvoilla ( $J/kg=kPa$ ). Vedenpidätyskyky on yleensä erilainen riippuen siitä, kostuuko vai kuivuuko näyte (ns. hystereesi). Yleensä vedenpidätyskyky määritetään vain näytteen kuivuessa, jolloin vesipitoisuuden suhde matriisipotentialiin on ns. desorptiokäyrä (ks. taulukko 3). Maan vedenpidätyskyky riippuu huokoskokojakaumasta, joka puolestaan riippuu raekokojakaumasta, orgaanisen aineksen määrästä ja rakenteesta. Vedenpidätyskyvyn perusteella voidaan arvioida esim. kasvien käytettävissä oleva veden määrä ja maan kuivatusominaisuuksia.

Taulukko 3. Esimerkkejä maan vedenpidätyskyvystä (% v/v) (Päivänen 1973, Seuna 1977, Heiskanen 1988, 1990).

Maa-aines	Matriisipotentiali, kPa					
	-0,1	-1	-10	-100	-1000	-1500
Hk	40	27	3	2	1	-
HHk	43	39	6	2	1	-
KHt	43-46	42-46	6-41	3	1	-
HHt	41	41	39-40	5-11	1	-
KHs	40	38	37	35	2	2
HHs	41	39	38	38	5	4
Sa	54	51	49	47	42	39
H-kerros (VT)	72	51	28	26	-	14
HHkMr (VT):						
A-kerros	50	43	21	12	-	5
B-kerros	49	42	21	14	-	6
C-kerros	40	32	12	6	-	2
Suoturvet:						
Sphagnum (H1)	95	60	27	20	10	-
Carex (H6)	87	78	57	32	17	-
Puujäänne (H10)	82	81	66	43	26	-
Kasvuturvet:						
VAPO D	93	85	30	25	-	-

Vedenpidätyskyvyn perusteella voidaan arvioida myös näytteen *huokoskokojakauma*, koska vedenpidätyskyky riippuu suoraan huokoskokojakaumasta. Tietyllä maaveden potentiaalil arvolla läpimitaltaan korkeintaan tietyn suuruiset huokokset ovat vedellä täyttyneet. Tasapainotilassa huokosessa olevan veden pintajännitysvoima on yhtä suuri kuin vapaan vesipinnan tasosta lasketun vesipatsaan massa, joka taas riippuu huokosen läpimitasta. Ts. tietty matriisipotentiali vastaa tiettyä, vedellä täyttyneen huokosen läpimittaa:

$$(15) \quad d = 4 \cdot \gamma \cdot \cos \alpha / (h \cdot g \cdot \rho), \text{ missä}$$

$d$  = huokosen läpimitta, cm,

$\gamma$  = pintajännitysvakio, 72,75 dyn/cm/20 °C,

$\alpha$  = veden reunakulma, astetta,

$h$  = vesipatsaan korkeus, cm,

$g$  = kiihtyvyydevakio, 981 cm/s<sup>2</sup>,

$\rho$  = veden tiheys, g/cm<sup>3</sup>.

Riippuvuus on likimäärin (20 °C:ssa)

$$(16) \quad d \approx 0,296/h.$$

Tästä seuraa, että esim. -10 kPa:ssa (100 cm vettä) suurimpien vedellä täyttyneiden huokosten läpimitta on noin 0,003 cm eli 30 µm. Näin ollen tietyllä matriisipotentialilla pidättynyt vesimäärä vastaa ao. huokoskokoluokan tilavuusosuutta. Vähentämällä kahden eri potentiaalil arvolla pidättyneen veden määrät toisistaan saadaan kyseistä potentiaaliväliä vastaavan huokoskokoluokan tilavuusosuuden likiarvo.

Vedenpidätyskyvyn laskennallinen määrittäminen laboratoriossa pohjautuu näytteen tiheyteen ja punnitsemiseen eri matriisipotentialien arvoilla (märkämassat) ja lopulta kuivatuksen (105 °C) jälkeen (kuivamassa). Nykyisin voidaan vesipitoisuus määrittää myös suoraan eri matriisipotentialeilla käyttämällä TDR-laitetta (Time Domain Reflectometer), joka antaa vesipitoisuuden volumetrinenä osuutena näytteen koko tilavuudesta (esim. Topp ym. 1984).

Volumetrinen määrittäminen edellyttää häiriintymättömien ja tilavuustarkkojen maanäytteiden käyttöä. Käytettävien näytelieriöiden on syytä olla ruostumatonta terästä (messinkä) ja tilavuuksiltaan tunnetut (esim. 250 cm<sup>3</sup>, korkeus 5-6 cm). Ilmakuivat kasvuturvenäytteet täytetään lieriöihin kuitenkin löyhästi käsin. Lisäksi näytettä tiivistetään kevyesti (5 s:n ajan 10 g/cm<sup>2</sup> paineella) lieriön päältä, mikä vastaa käytännössä likimain kasvuturpeen tiivistämistä paakkuihin (Heiskanen 1990). Voimakkaampi tiivistys (10 kPa = n. 100 g/cm<sup>2</sup>) kohottaa näytteen tiheyttä liiaksi (DeKreij & DeBess 1989).

## 4.2 Painelevymenetelmä

Välineet:

- näytelieriöt
- painelevyalaite (esim. Soilmoisture Equipment Corp. tai Soiltest Inc.)(ks. kuva 4)
- metallilasta (näytteiden siirtelyä ja punnitusta varten)
- vaaka (10 mg tarkkuus)
- lämpökaappi

Näytteiden esikäsittely

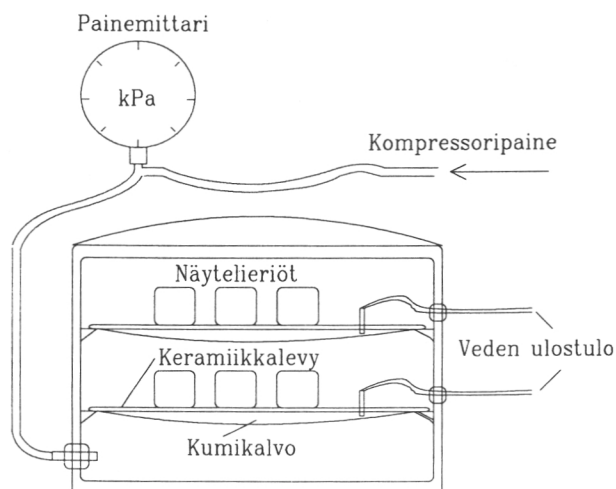
Näytteet on kerättävä lieriöihin häiriintymättömästi ja säilytettävä viileässä (esim. 5 °C) ennen analyysiä.

Analyysin suoritus

Kyllästysvesipitoisuuden (n. -0,1 kPa:ssa) määrittämiseksi näytelieriö suljetaan pohjastaan nailonharsolla tai tiheällä metalliverkolla. Näytelieriö kyllästetään vesijohtovedessä 2 vrk siten, että vesipintaa nostetaan hitaasti lähes näytteen yläreunan tasalle. Vedenpinnan kohottamisella pyritään puristamaan ilma näytteestä pois. Kuivan orgaanisen maan kostuttamiseksi saattaa lisäksi olla tarpeen sumuttaa vettä näytteen päälle. Kostuttamisen jälkeen mahdollinen näytelieriön yliturvonnut näyteosa leikataan pois ja näytteen kyllästystilavuus ja massa mitataan. Kyllästysmassan (-0,1 kPa:ssa) määrittämisen jälkeen näyte asetetaan painelevylaitteeseen desorptiokäyrän määrittämiseksi (kuva 4). Määrittyspisteet (matriisipotentialaaleina) voivat olla järjestyksessä esim. seuraavat:

Järjestys	-cm H <sub>2</sub> O	-pF	-kPa
1	1	0,0	0,1
2	10	1,0	1,0
3	50	1,7	4,9
4	100	2,0	9,8
5	500	2,7	49,1
6	1000	3,0	98,1
7	15850	4,2	1554





Kuva 4. Painelevylaitteen kaaviokuva.

Kyllästysvesipitoisuuden määrittäminen vastaa likimain pistettä 1. Pisteiden 2, 3 ja 4 määrittämisessä voidaan käyttää painelevylaitteeseen menevän paineen kontrollointiin muoviputkessa olevan vesipatsaan korkeutta (10, 50 ja 100 cm), jonka läpi paineilman annetaan kuplia. Vesipatsas ja sen kautta menevä paineilman kuplintaletku on asennettava ennen painemittaria, jotta mittari näyttäisi paineen, joka kohdistuu painekammioon. Korkeusero vesipinnan ja kuplintaletkun pään välillä määrää potentiaalin. Potentiaalia säädetään laskemalla tai nostamalla letkua vesipatsaassa.

Kun näyte on saavuttanut tasapainotilan määrittämissä pisteissä (veden tulo lakannut), otetaan se varovasti pois laitteesta käyttäen apuna metallilastaa. Näytteen tilavuus ( $V_i$ ) ja märkämassa ( $M_i$ ) mitataan. Tilavuusmäärittäminen perusteella voidaan määrittää desorptiomäärittäksen aikana tapahtunut tilavuuskutistuminen.

Käytettäessä samaa näytettä läpi koko desorption, näyte ja keramiikkalevyt on syytä kastella runsaasti aina ennen uuden potentiaalipisteen määrittäystä. Lopuksi viimeisen pisteen jälkeen näyte kuivataan vakiomassaan  $105\text{ °C}$ :ssa ja punnitaan kuivamassa ( $M_s$ ). Käytettäessä jokaisessa potentiaalipisteessä uusia näytteitä, kuivamassa punnitaan erikseen jokaisen potentiaalipisteen jälkeen (ks. Heiskanen 1990). Tiheys ( $\rho_b$ ) lasketaan kuivamassan ja kyllästytilavuuden suhteena. Pisteessä 7 käytetään erillisiä näytteitä ja matalia ( $d=50\text{ mm}$ ,  $h=10\text{ mm}$ ) näytelieriöitä, jotta varmistetaan kontakti näytteen ja painelevyn välillä sekä veden virtaus näytteestä keramiikkalevyyn. Koska veden tiheys on noin  $1\text{ g/cm}^3$ , tilavuusperusteinen

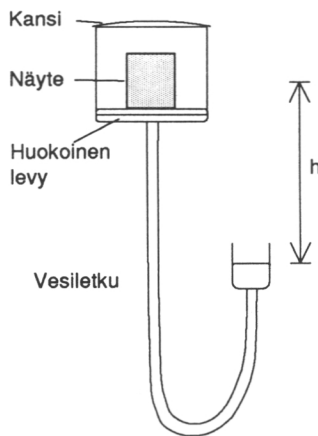
pidäntynyt vesimäärä (desorptiokäyrä) saadaan kuivamassan sekä kussakin määrittyspisteessä määritetyn näytteen vesimassan ( $=M_i - M_s$ ) ja tilavuuden avulla seuraavasti ( $\rho_{bi} = M_s/V_i$ ):

$$(17) \quad \theta_i = ((M_i - M_s)/M_s) \cdot \rho_{bi}.$$

Mikäli näyte ei juuri kutistu desorption aikana voidaan tiheysarvona käyttää aina normaalia tiheyttä ( $\rho_b$ , kaava 4). Huokostilavuus eri määrittyspisteissä määritetään kaavalla (6). Ilmatilan osuus eri potentiaaleilla, millä on suuri merkitys maan ilmanvaihdolle, saadaan vähentämällä huokostilasta vesipitoisuus.

### 4.3 Imumenetelmä

Maan vedenpidätyskyky matriisipotentiaaleilla  $> -20$  kPa voidaan määrittää myös käyttämällä imumenetelmää (kuva 5). Menetelmää varten on myös saatavissa määrättilavuuksisia ns. imukammioita. Menetelmä on periaatteessa vastaava kuin painelevylaitteessa, mutta potentiaali aikaansaadaan huokoisien levyn alle kohdistetulla alipaineella. Alipaine aikaansaadaan vesiletkulla, joka on toisesta päästään kontaktissa levyyn ja toisesta päästään avoin. Avoimen vesipinnan korkeusero levyn päällä olevan näytteen keskipisteeseen pystysuunnassa on suoraan verrannollinen matriisipotentiaaliin. Kun näytteen vesipitoisuus on tasapainotilassa ao. potentiaalilla, näyte punnitaan ja vesipitoisuus määritetään tuore- ja kuivamassan perusteella (kaava 17).



Kuva 5. Kaavakuva vedenpidätyskyvyn määrittämisestä imumenetelmällä.

## 5. Vedenjohtavuus

### 5.1 Yleistä

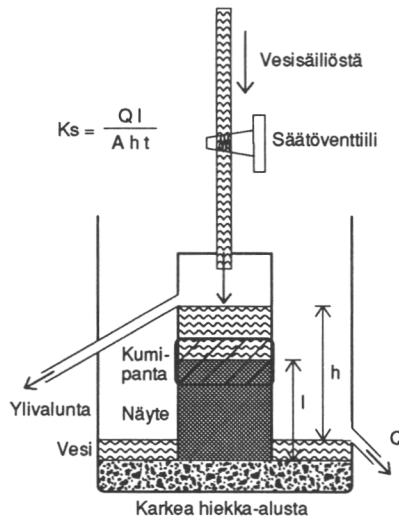
Vedenjohtavuus (esim. m/s) ilmaisee veden liikenopeuden näytteessä veden potentiaaligradientin suuntaan. Näytteen kuivussa vedenjohtavuus alenee voimakkaasti. Kyllästymättömän maan vedenjohtavuuden mittausta edellyttää suhteellisen monimutkaista menetelmää (esim. Hartge & Horn 1989), jota ei tässä esitetä. Vedenjohtavuus vaikuttaa ratkaisevasti mm. kasvien vedensaatavuuteen.

*Kyllästysvedenjohtavuudella (vedenläpäisevyydellä) ymmärretään veden virtausnopeutta vedellä kyllästyneen näytteen läpi, joka riippuu maan huokoskokojakaumasta, huokosmuodosta ja huokosten jatkuvuudesta. Karkeilla maalajeilla kyllästysvedenjohtavuus on suuri ja hienojakoisilla taas pieni, esim. soralla  $10^{-1} \dots 10^{-3}$  ja savella  $< 10^{-9}$  cm/s. Turpeen kyllästysvedenjohtavuus vaihtelee turvelajista riippuen välillä  $10^{-2} \dots 10^{-5}$  cm/s. Vedenläpäisevyydellä on merkitystä mm. maan ilmanvaihdolle ja kuivatukselle.*

### 5.2 Läpivalutusmenetelmä

Välineet:

- näytelieriöt
- vedenläpäisevyyslaite (kuva 6)
- vaaka (tarkkuus 10 mg)



Kuva 6. Kyllästysvedenjohtavuuden määrittäminen.

## Näytteiden esikäsittely

Näytteet käsitellään ennen mittausta samoin kuin kyllästysvesipitoisuuden määrittämisessä, mutta näytteitä voidaan kyllästä vain 1 vrk.

## Analyysin suoritus

Kyllästysvedenjohtavuus ( $K_s$ ) voidaan määrittää Kluten ja Dirksenin (1986) esittämää vakiopainemenetelmää soveltaen. Näytelieriö, jonka pohjassa on 1 mm:n reikiä tasavälein, asetetaan näytteineen analysoitavaa näytettä karkeammalle tasajakaiselle kvartsihiekkalustalle. Näytelieriön päälle kiinnitetään kumipannalla tyhjä lieriö, joka on myös pohjastaan reijitetty. Vesi johdetaan hanasta tasaussäiliöön ja edelleen ylälieriöön. Vedentuloa säädellään venttiilillä (kuva 6).

Ennen varsinaista  $K_s$ -mittausta valutetaan vettä valutussysteemissä olevan näytteen läpi yön yli. Seuraavana aamuna mitataan esim. 30 min:n välein (riippuu valuntanopeudesta) näytteen läpäissyt vesimäärä kunnes valunta on tasaantunut. Vesimäärä saadaan punnitsemalla mittaastiaan kertynyt vesi (valuntaveden tiheys tunnettava,  $1 \text{ g} \approx 1 \text{ cm}^3$ ). Mittauksessa käytetyn veden lämpötila mitataan kinemaattisen viskositeetin arvioimiseksi. Kyllästysvedenjohtavuuden vakioiminen tietylle lämpötilan tasolle tapahtuu kertomalla sen arvo korjauskertoimella, joka on mittaustilanteen kinemaattisen viskositeetin ja vertailulämpötilan kinemaattisen viskositeetin suhde (ks. Campbell 1985, s. 54).

Tasaantuneen valunnan vallitessa kyllästysvedenjohtavuus (cm/min) saadaan seuraavasti (Darcyn laki):

$$(18) \quad K_s = (Q \cdot l) / (A \cdot h \cdot t), \text{ missä}$$

$Q$  = kertynyt vesimäärä,  $\text{cm}^3$ ,

$l$  = näytteen korkeus, cm,

$A$  = näytteen ala,  $\text{cm}^2$

$h$  = potentiaaliero, cm (vesitasojen välinen ero) ja

$t$  = aikaväli, min.

Edellä kuvatun systeemin mittaustulokset ovat yleensä jonkin verran yliarvioita, koska vesi pääsee valumaan nopeammin valutuslieriön seinämiä myöten. Onkin syytä varmistua, että näyte on kiinni lieriön seinämissä. Mikäli yliarviota esiintyy, valutussysteemiä voidaan parantaa asettamalla näytelieriön päälle sitä halkaisijaltaan pienempi tyhjä lieriö, josta valutusvesi ei suoraan pääse näytelieriön seinämille. Näytteen epätäydellinen kostuminen voi myös lisätä tai vähentää veden läpäisykykyä (esim. Päivänen 1973).

## Kirjallisuus

- Blake, G.R. & Hartge, K.H. 1986a. Bulk density. Teoksessa: Klute, A. (toim.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2. p. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA, s. 363-375.
- 1986b. Particle density. Teoksessa: Klute, A. (toim.), Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2. p. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA, s. 377-382.
- Campbell, G.S. 1985. Soil physics with basic. Transport models for soil-plant systems. Developments in Soil Sci. 14. Elsevier. 150 s.
- CRC Handbook of Chemistry and Physics. 1981. 1981-1982. 62nd ed. CRC Press, Inc., Boca Raton, FLA.
- DeKreij, C. & DeBess, S.S. 1989. Comparison of physical analysis of peat substrates. Acta Hortic. 238:23-36.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis. Seloste: Maan raekoostumuksen määrittäminen. Acta Agr. Fenn. 122. 122 s.
- Halonen, O. & Tulkki, H. 1981. Ravinneanalyysien työohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 36. 23 s.
- ,Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Hartge, K.H. & Horn, R. 1989. Die physikalische Untersuchung von Böden. 2. Aufl. Enke. 175 s.
- Heiskanen, J. 1988. Metsämaan vedenpidätyskyvystä ja sen suhteista eräisiin kasvupaikasta mitattuihin tunnuksiin. Metsänhoitotieteen lisensiaattityö, Helsingin Yliopisto. 92 s.
- 1990. Näyteliöriön täyttötavan vaikutus kasvuturpeen vedenpidätyskykyyn. Summary: The effect of sample handling on the water retention of growth peat substrate. Suo 41(4-5): 91-96.
- 1992. Comparison of three methods for determining the particle density of soil with liquid pycnometers. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 23(7-8) (painossa).
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press. 364 s.
- Jarva, M. & Tervahauta, A. 1992. Kasvi- ja maanäytteiden analyysiohjeet. Metsäntutkimuslaitos, keskuslaboratorio. Käsikirjoitus.
- Klute, A. & Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity. Laboratory methods. Teoksessa: Klute, A. (toim.), Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2. p. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA, s. 687-734.
- Niska, K. 1986. Kivennäismaan ravinneäärien ilmaisutapa. Silva Fenn. 20(2): 129-138.

- Päivänen, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. *Acta Forestalia Fennica* 129. 70 s.
- 1982. Turvemaan fysikaaliset ominaisuudet. *Suometsätieteen laitoksen julkaisuja* 2. Helsingin Yliopisto. 69 s.
- Seuna, P. 1977. Kasteluun vaikuttavista hydrometeorologisista tekijöistä. Summary: On the hydrometeorological factors affecting irrigation. *Vesientutkimuslaitoksen Julkaisuja* 24. 96 s.
- Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa. Summary: Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland. *Folia For.* 777. 40 s.
- 1992. Metsämaan tiheys. *Metsäntutkimuslaitos, metsäekologian tutkimusosasto. Käsikirjoitus.*
- Topp, G.C., Davis, L., Bailey, W.G. & Zebchuk, W.D. 1984. The measurement of soil water content using a portable TDR hand probe. *Can. J. Soil Sci.* 64: 313-321.
- Viro, P. 1952. Kivisyyden määrittämisestä. Summary: On the determination of stoniness. *Commun. Inst. For. Fenn.* 40(3). 23 s.

## Liitteet

Liite 1. Veden tiheys ja viskositeetti lämpötilan funktiona.

Lämpötila °C	Tiheys g/cm <sup>3</sup>	Viskositeetti P
18	0,9986	0,01053
19	,9984	,01027
20	,9982	,01002
21	,9980	,00978
22	,9978	,00955
23	,9976	,00933
24	,9973	,00911
25	,9971	,00890
26	,9968	,00871
27	,9965	,00851
28	,9963	,00833
29	,9960	,00815
30	,9957	,00798







Liite 4. Esimerkki PIPETTI.for ja AREOMETRI.for ohjelman tulosteesta. Näytteen koodi on sarakkeilla 1-15, lajitteittaiset summaprosentit (0,1 %) sarakkeilla 16-42, mediaaniraeläpimitta eli keskiraekoko ( $\mu\text{m}$ ) sarakkeilla 43-46, lajittuneisuusindeksi  $\text{Sort}=\sqrt{d_{75}/d_{25}}$  (2 des.) sarakkeilla 47-50 ja alle 2 mm:n fraktion irtotiheys ( $0,01 \text{ g/cm}^3$ ) sarakkeilla 51-54. Summaprosentit on laskettu lajitteiden ylärajoille, läpimitoille 2, 6, 20, 63, 200, 630 ja 2 000 mm.

Näyte	koodi	S u m m a p r o s e n t i t												d50	Srt	Tih	
011591	212	14	27	37	61	122	629	844	472	213	149						
11591	213	11	15	19	32	63	549	785	563	233	153						
11591	214	12	20	25	34	77	598	764	509	249	149						
11591	215	15	21	27	38	119	633	781	469	242	144						
11591	216	120	237	353	444	524	815	891	61	310	131						
11591	204	224	452	679	850	929	996	1000	8	377	117						
21512	211	32	111	174	276	593	929	969	143	270	117						
21512	212	21	51	81	186	592	924	970	154	214	136						
21512	213	15	48	73	138	578	913	961	163	207	156						
21512	214	16	86	147	257	594	899	962	145	248	160						
21512	204	37	168	300	424	549	681	778	127	1065	143						
55353	211	35	167	300	527	723	875	946	55	440	112						
55353	212	13	51	90	261	342	396	464	233	21081	127						
55353	213	11	45	77	122	205	301	412	2824	467	146						
55353	214	9	35	60	154	268	377	451	2457	648	171						
79533	211	15	28	37	72	277	862	1000	310	172	144						
79533	212	9	15	19	46	207	799	926	353	163	157						
79533	213	13	23	30	44	192	994	1000	311	143	155						
79533	214	13	19	23	33	180	1000	1000	313	142	152						



ISBN 951-40-1240-2

ISSN 0358-4283

Valtion painatuskeskus  
Kampin VALTIMO  
Helsinki 1992