

ACTA FORESTALIA FENNICA

184

TAIMITARHAMOIDEN FYSIKAALISIA JA
KEMIALLISTA OMINAISUUKSIA SEKÄ NIIDEN
SUHDE ORGAANISEN AINEKSEN MÄÄRÄÄN

*PHYSICAL AND PHYSICO-CHEMICAL
PROPERTIES OF FOREST TREE NURSERY SOILS
AND THEIR RELATION TO THE AMOUNT OF
ORGANIC MATTER*

Carl Johan Westman



SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA 1983

Suomen Metsätieteellisen Seuran julkaisusarjat

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

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

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

Publications of the Society of Forestry in Finland

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

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

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

ACTA FORESTALIA FENNICA 184

TAIMITARHAMOIDEN FYSIKAALISIA JA KEMIAALLISIA OMINAISUUKSIA SEKÄ NIIDEN SUHDE ORGAANISEN AINEKSEN MÄÄRÄÄN

Carl Johan Westman

Summary

*PHYSICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES
OF FOREST TREE NURSERY SOILS AND THEIR RELATION TO
THE AMOUNT OF ORGANIC MATTER*

HELSINKI 1983

WESTMAN, C. J. 1983. Taimitarhamaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia sekä niiden suhde orgaanisen aineksen määrään. Summary: Physical and physico-chemical properties of forest tree nursery soils and their relation to organic matter content. Acta For. Fenn. 184: 1-34.

Käsillä olevan tutkimuksen tavoite on metsäpuiden taimitarhojen avomaan kasvualueiden eräiden fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien sekä näiden vuoro-vaikutusten kuvaaminen, erityisesti tarkastellen maan orgaanisen aineksen määrän vaikutusta maan viljelyominaisuuksiin.

Kahdeksan taimitarhan yhteensä kolmestakymmenestä kolmesta viljelylohkoista kerätyistä näytteistä määritettiin seuraavat muokkauskerrosta kuvaavat tunnusluvut: maan raekoostumus, orgaanisen aineksen määrä, tiheys ja ainestiheys, kokonaishuokostilavuus, potentiaaleja pF 2,0 ja 4,2 vastaava maaveden määrä, kasveille käyttökelpoisen veden määrä ja kenttäkapasiteettia vastaava ilma-tila, aktiivihappamuus ja johtoluku sekä kationinvaihtokapasiteetit pH:ssa 4,5 ja 8,0. Taimitarhamaat olivat etupäässä lajituneita hiekkamaita, vain muutamissa tapauksissa hiesu- ja savesusuudet viittasivat siihen, että perusmaa oli moreeni. Maan orgaanisen aineksen määrä vaihteli hyvin laajoissa puitteissa siten kuvaten eri taimitarhojen maanparannustavoitteiden välisiä eroja.

Useimmissa tapauksissa maan orgaanisen aineksen määrä vaikutti voimakkaasti kivennäisaineiden ominaisuuksien ja maan viljavuustunnuksen (vedenpidätysominaisuudet ja kationien pidätyskyky) väliseen suhteeseen. Maan tiheystunnuksen arvot pienenevät johdonmukaisesti kun orgaanisen aineksen määrä kasvoi kahdesta kahteenkymmenenprosenttiin kuvastaen maan kokonaishuokostilavuuden samanaikaista kasvua. Huolimatta kokonaishuokostilavuudessa tapahtuvaa muutosta vedenpidätyspotentiaalia pF 2,0 vastaava maaveden määrä ei lisääntynyt eikä myöskään kasveille käyttökelpoisen veden määrä. Tämä odottamaton tulos todettiin johtuvan siitä, että keinotekoisesti valmistetusta hiekkaturve kasvualueesta puuttuu se huokoskokoiluokka josta yllämainitut vedenmäärät ensisijaisesti riippuvat. Näyttää siltä, että liiallinen turpeen lisääminen hiekkaiseen, mutta erityisesti hietaiseen maahan ensisijaisesti lisää maan ilmavuutta.

Konsentraatiopitoisuuksina ilmaistut kationinvaihtokapasiteetit (m.e. 100 g^{-1}) riippuivat kiinteästi orgaanisen aineksen määrästä. Kun sen sijaan pitoisuustunnukset muunnettiin absoluuttisiksi arvoiksi, t.s. ekvivalenttejä muokkauskerroksen pinta-alayksikköä kohti, orgaanisen aineksen positiivinen vaikutus jäi selvästi odotettua pienemmäksi. Runsaasti orgaanista ainetta sisältävät maat eivät poikenneet kationinpidätyskykynsä suhteen maista, jotka sisälsivät vain vähän orgaanista ainetta. Tulokset selitettiin johtuvan siitä, että orgaanisen aineksen maata kuohkeuttava vaikutus on voimakkaampi kuin sen vaikutus kationinvaihtopaikkojen absoluuttiseen määrään.

The aims of the present study were to determine physical and physico-chemical properties of some Finnish forest tree nursery soils, to examine the relationship between these properties and the amount of organic matter in soil and, finally, to discuss the influence of organic matter on the cultivatability of the soil.

The following soil tillage layer properties of thirtythree fields belonging to eight forest tree nurseries were determined and are discussed: soil particle size distribution, organic matter content, bulk density and density of solids, total pore space, soil water volume at potentials pF 2.0 and 4.2, available water content and air space at potential pF 2.0, active acidity, electrical conductivity index and cation exchange capacities at pH 4.5 and 8.0. The soil textural class of the tillage layer parent material was sand, only in a few cases did a higher percentage of silt and clay indicate a morainic nature of parent material. The amount of organic material in the soils varied within very wide limits, reflecting differences in amelioration policy between the single nurseries.

The relationships between the physical properties of the soil parent material and those related to fertility (i.e. water retention properties and cation exchange capacity) were in most cases strongly influenced by the amount of soil organic matter. Soil density values clearly decreased as the organic matter content increased from 2 to 25 per cent, giving rise to a strong simultaneous increase in the total pore space. However, the amount of water held at potential pF 2.0 and the available water content did not increase, as would be expected, with increasing organic matter content. This result was found to be due to the absence of the particle size fraction in the sand - raw *Sphagnum* peat mixture that is responsible for water retention at these potentials. Nursery soil amelioration, involving in most cases a mixing of *Sphagnum* peat with sand, thus primarily gives rise to an increase in the content of drainable water.

The cation exchange capacities, when expressed on a mass concentration - mass basis (i.e. $\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$), were strongly and positively correlated with the organic matter content. However, the absolute number of exchange sites expressed as equivalents in the tillage layer (i.e. eq m^{-2}), did not increase in accordance with the increase in organic matter content. This result can be explained by the influence of the organic matter content upon the ratio of solids to voids.

SISÄLTÖ

1. JOHDANTO	5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	6
3. TULOKSET	8
31. Taimitarhamaiden koostumus	8
32. Taimitarhamaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia	10
321. Viljavuustunnuksen väliset riippuvuudet	10
322. Tiheys ja ainestiheys	12
323. Vesitaloudelliset ominaisuudet	13
324. Sähkönjohtokyky ja happamuus	18
325. Kationinvaihtokapasiteetti	19
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	22
5. YHTEENVETO	25
KIRJALLISUUS	27
SUMMARY	28

ESIPUHE

Käsillä oleva tutkimus sai alkunsa 1970-luvun puolessavälissä, jolloin minulla oli useaan otteeseen tilaisuus osallistua metsätaimitarhojen johtajille ja työnjohtajille järjestettyihin koulutustilaisuuksiin. Opetustilaisuuksissa käydyissä keskusteluissa ja jäljempänä vieraillessani taimitarhoilla kiteytyi tässä tarkasteltava kysymyksenasettelu. Tässä haluan erityisesti kiittää Hietikon taimitarhan silloista johtajaa, Jouko Tavailaa lukuisista keskusteluista.

Alunperin metsänhoitaja Heikki Vahantaniemi laati laudaturtutkielmansa metsänhoitotieteeseen tästä aiheesta; käsillä oleva tutki-

musraportti perustuukin huomattavalta osalta hänen tekemiinsä laboratoriomäärittelyihin.

Työn eri vaiheissa olen saanut neuvoja MML Jukka Laineelta ja Ph.D. Mike Starr:ilta, joka myös on tarkistanut englanninkielisen tekstin. Käsikirjoituksen ovat lisäksi lukeet dos. Juhani Päivänen, MMT Erkki Lipas sekä prof. Eino Mälkönen tehden siihen vilkasta keskustelua aiheuttavia huomautuksia. Esitän tässä kaikille parhaat kiitokseni.

Taloudellista tukea tutkimus on saanut Metsätalouden edistämisrahastolta.

Hangossa tammikuussa 1983

C J Westman

JOHDANTO

Metsäpuiden taimitarhat sijoitetaan nykyään tuotantoteknisistä syistä karkealle lajittuneelle maalle. Erityisesti paljasjuuristen taimien kasvattaminen, joka muodosti v. 1980 yli 70 % Suomessa tuotetuista metsäpuun taimista (Metsätalastollinen vuosik. 1980), edellyttää raskaan konekaluston käyttöä. Siksi maan on oltava keväällä, taimien nostokauden aikana, ja yleensä sateiden jälkeen nopeasti kuivuvaa ja kantavaa. Maan voimakas routaantuminen ja ennen kaikkea rousteen muodostuminen ovat lisäksi haitallisia ominaisuuksia. Näiden seikkojen huomioonottaminen johtaa tilanteeseen, missä kasvualusta on biologisessa mielessä melko epädullinen. Syntyneen ristiriitaisuuden korjaamiseksi suoritetaan maanparannustoimenpiteitä, joilla pyritään maan ravinteiden ja vedenpidätyskyvyn parantamiseen.

Käytännössä maahan lisätään 3–10 vuoden väliajoin orgaanista ainetta, useimmiten turvetta. Vuonna 1976 käytettiin 82 %:ssa maamme keskustaimitarhoista yhteensä 39400 m³ turvetta maanparannusaineena (500–700 m³ · ha⁻¹). Muista parannustoimenpiteistä oli merkittävin vihantalannoitus, jota käytettiin 18 %:ssa keskustaimitarhoistamme

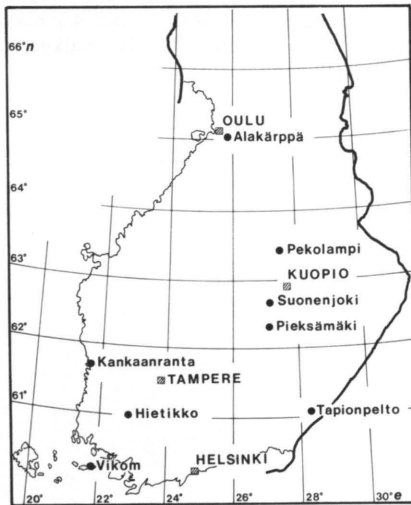
(Rikala 1978, Rikala & Westman 1978).

Taimitarhamaiden ominaisuuksia sekä niiden ja taimien ominaisuuksien välisiä riippuvuuksia tutkiessaan Mikola (1957 a) toteaa, ”että kaikista tutkituista ominaisuuksista humuspitoisuuden vaikutus taimien menestymiseen on ilmeisin”. Taimitarhatekniikka on kuitenkin muuttunut monessa suhteessa viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana. Taimitarhat perustetaan suoraan metsään raivatuille kankaille. Vanhat peltomaat, joissa usein on runsaasti rikkaruohoja ja taudinaiheuttajia, hylätään johdonmukaisesti taimien kasvatusalustoina. Tämän vuoksi eivät myöskään Heinosen (1957 a, b ja 1960 a, b) tutkimustulokset peltomaiden eräiden fyysikaalisten ominaisuuksien ja maan orgaanisen aineksen määrän keskenäisistä suhteista sellaisenaan sovellu nykyisten taimitarhamaiden kuvaamiseen.

Käsillä olevan tutkimuksen tavoite on metsäpuiden taimitarhojen avomaan kasvualustojen eräiden fyysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien sekä näiden vuorovaikutusten kuvaaminen, erityisesti tarkastellen maan orgaanisen aineksen määrän vaikutusta maan viljelyominaisuuksiin.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksen kohteiksi valittiin kahdeksan eri puolella Suomea sijaitsevaa suunnilleen samantasoista keskustaimarhaa (kuva 1), joilta kerättiin vuosina 1974–77 näytteitä seuraavasti: Alakärppä 3 kpl, Hietikko 6 kpl, Kankaanranta 2 kpl, Pekolampi 5 kpl, Pieksämäki 6 kpl, Suonenjoki 5 kpl, Tapionpelto 3 kpl sekä Vikom 3 kpl, yhteensä 33 maanäytettä. Näytteenkeruutavan periaatteita ovat aikaisemmin kuvanneet Westman ja Hänninen (1977) sekä Hänninen (1977), tässä käytetyt näytteet kuuluivatkin osana mainittujen tutkimusten aineistoon. Siten jokainen näyte koostui 60 osanäytteestä, jotka oli kerätty kuvattavasta viljelylohkosta systemaattisena ryväotantana. Ennen laboratoriomääritysten aloittamista näytteet kuivatettiin 105°C:ssa ja homogenisoitiin 2 mm:n pohjaseulalla varustetulla vasaramyllyllä.



Kuva 1. Tutkimuksessa mukana olleiden taimitarhojen sijainti.

Figure 1. Location of the forest tree nurseries studied.

Edellämainitut näytteet muodostavat tutkimuksen perusaineiston, josta alla luetellut tunnukset määritettiin. Orgaanisen aineksen määrän vaikutusta maan ominaisuuksiin tutkittiin erillisellä näytesarjalla, johon kuului 10 ositetulla satunnaisotannalla perusaineistosta valittua näytettä (not 1, 2, 8, 11, 16, 21, 25, 28, 30 ja 33 liitteessä 1). Kukin näytteistä jaettiin kahteen osaan, toinen osa käsiteltiin kuten kaikki perusaineistoon kuuluvat näytteet ja toisesta näyteosasta poistettiin orgaaninen aines vetyperoksidi- ja suolahappokäsittelyllä ennen analysointia (Elonen 1970). Näin saadusta lähes puhtaasta kivennäisainefraktiosta mitattiin alla luetellut maatunnukset johtolukua ja happamuutta lukuunottamatta.

Maan raekoostumus selvitettiin mekaanisella maa-analyysillä (Elonen 1970) ja orgaanisen aineksen määrä hehkuttamalla näyte-erää 550°C:ssä 2 tunnin ajan. Maan tiheyden¹⁾ likiarvo saatiin homogenisoidun näytteen massan ja tunnetun tilavuuden suhteen ja ainestiheys¹⁾ määrittämällä massaltaan tunnetun maa-erän ainestilavuus pyknomet-rissä. Näiden mittausten avulla laskettiin huokostilavuuden likiarvo:

$$(1) \text{ [Huokostilavuus] } = \frac{[\text{ainestiheys} - \text{tiheys}]}{[\text{ainestiheys}]} \cdot 100$$

Edelleen määritettiin Richards'in laitteistolla maaveden jännityksen arvoja pF 2,0 ja 4,2 vastaavat vesipitoisuudet, joiden katsottiin vastaavan kenttäkapasiteettia ja lakastumisrajaa. Määritykset tehtiin vaiheittain, nostamalla maaveden pidätyspotentiaalia. Maaveden jännite pF 0 vastaavaa vesipitoisuutta ei mitattu suoranaisesti vaan sen likiarvoksi otettiin kokonaishuokostilavuuden likiarvo. Näiden tunnusten avulla laskettiin hyötykapasiteetti ja kenttäkapasiteetin ilma-tila:

¹⁾ SI järjestelmää noudattaen käytetään tässä aikaisemmin käytössä olleiden termien tilavuuspaino ja ominaispaino sijasta termejä *tiheys* ja *ainestiheys*

$$(2) \text{ [Hyötykapasiteetti] } = \left[\frac{\text{kenttäkapasiteetin}}{\text{vesipitoisuus}} \right] - \left[\frac{\text{lakastumisrajan}}{\text{vesipitoisuus}} \right]$$

$$(3) \text{ [Kenttäkapasiteetin ilma-tila] } = \left[\frac{\text{huokostilavuus}}{\text{vesipitoisuus}} \right] - \left[\frac{\text{kenttäkapasiteetin}}{\text{vesipitoisuus}} \right]$$

Maan ravinteidenpidätyskyvyn kuvaamiseksi määritettiin kunkin näytteen kationinvaihtokapasiteetti kahdessa eri happamuustasossa, pH 4,5 ja pH 8,0. Määritykset suoritettiin kyllästämällä näyte ammoniumioneilla puskuroidusta ammonium-asetaattiliuoksesta, jonka jälkeen näytteeseen sitoutuneet kationit vaihdettiin ulos uuttamalla happamalla natriumkloridiliuoksella (Chapman 1965). Saadusta uutteesta ammoniumtyyppi määritettiin höyrytislauksella (Bremner 1965). Lisäksi määritettiin pH lasielektrodilla, suhteessa 1:2,5 valmistetusta maa-vesilietoksesta, ja samasta lietoksesta mitattiin maan sähkönjohtokyky. Tämä muunnettiin johtoluvuksi seuraavalla kaavalla:

$$(4) \text{ LT} = \frac{10000}{k \cdot \frac{1}{\kappa}}$$

missä κ on sähkönjohtokyky Siemenseinä ja k mittauskennolle ominainen vakio.

Aineiston tilastomatemaattinen käsittely käsitti keskiarvotunnusten laskemisen lisäksi niiden vertailun yksisuuntaisella varianssi-analyysillä, eräässä tapauksessa sovellettiin kovarianssianalyysiä, ja edelleen keskiarvoerojen testauksen parittaisella t-testillä. Korrelaatio- ja osittaiskorrelaatioanalyysien avulla tutkittiin eri tunnusten välisiä riippuvuuksia. Valikoivalla regressioanalyysillä pyrittiin löytämään maan vesi- ja ravinnetaloutta selittäviä tekijöitä ja muodostamaan riippuvuuksia kuvaavia malleja (Mäkinen 1974). Laskennat suoritettiin Helsingin yliopiston laskentakeskuksen kirjasto-ohjelmilla (HYLK/HYLP 1977, Korhonen 1978), käytetyt muuttujat ja niiden indeksointi ilmenee liitteestä 2.

3. TULOKSET

31. Taimitarhamaiden koostumus

Tutkimuksessa mukana olevista taimitarhojen perusmaista on viisi hiekkavaltaisia ja kolme hietavaltaisia (taulukko 1). Kuudessa tapauksessa maat ovat selvästi lajittuneita, mutta Tapionpellon ja Vikomin taimitarhojen perusmaat sisältävät verraten runsaasti myös hienoja lajitteita. Hiesun ja saveksen yhteismäärä on ensimmäinissä 25 ja viimeinissä 28 paino-%, joita voidaan pitää haitallisen suurina määrinä (Mikola 1957 a, Benzia 1965); Vikomin perusmaan valtalajite on kuitenkin hiekka, Tapionpellossa vastaavasti hietä.

Perusmaan lajitekoostumuksen vaihtelu maantieteellisesti erillään olevien taimitarhojen välillä on luonnollista; kaikkien tutkittujen maiden keskimääräistä koostumusta (taulukko 1) voidaan kuitenkin pitää esimerkkinä hyvästä taimitarhamaasta. Verrattuna Mikolan (1957 a) "normaalimaahan" taimitarhamaiden koostumus on tässä saatujen tulosten mukaan siirtynyt jonkin verran hiekka- ja hie-

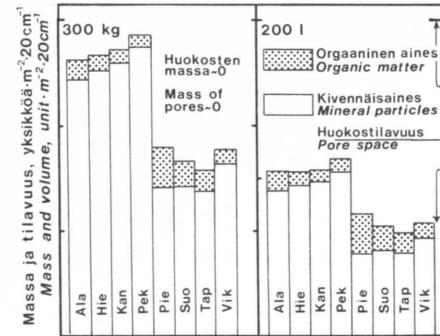
talajitteiden suuntaan. Mikolan tulosten mukaan maat sisälsivät 25 vuotta sitten keskimäärin n. 20 % hiesua ja savesta. Keskimääräisiä tunnuksia merkityksellisempää on, että lajitekoostumus saattaa vaihdella samankin taimitarhan eri viljelylohkojen välillä (liite 1). Selvimmin tämä näkyy hiekka- ja hietalajitteiden keskinäisessä suhteessa ja voi mahdollisesti vaikuttaa eri lohkojen viljelyominaisuuksiin.

Maan orgaanisen aineksen määrä vaihtelee yksittäisten taimitarhojen sisällä. Tässä niin kuin taimitarhojen välisessä vaihtelussa voidaan nähdä inhimillisen tekijän vaikutusta. Suurimmillaan vaihtelu on Pieksämäen taimitarhassa, jossa havainnot ovat välillä 7,3 ja 58 % (liite 1). Viimeksi mainittu havainto on kuitenkin yksittäinen ääriarvo, joka on peräisin aluperin kivennäismaan päälle valmistetusta turvepenkistä. Erilaisuutensa vuoksi tätä näytettä ei tulla edempänä käyttämään laskennoissa. Koko näyteaineistossa orgaanisen aineksen määrä on keskimäärin $8,7 \pm 1,0$ %.

Taulukko 1. Taimitarhamaiden keskimääräinen kivennäismaan raekoostumus, orgaanisen aineksen määrä sekä tiheystunnuksukset. Varianssianalyysiiä täydentävien parittaiten t-testien tulokset on merkitty viivoin sarakkeisiin; 5 % riskitasolla toisistaan eroavat keskiarvot on yhdistetty.

Table 1. Average particle size distribution, amount of organic matter, and density data of the nursery soils studied. The results from paired t-tests of the mean values are indicated by vertical lines in the columns; means differing at 5 % risk level are connected.

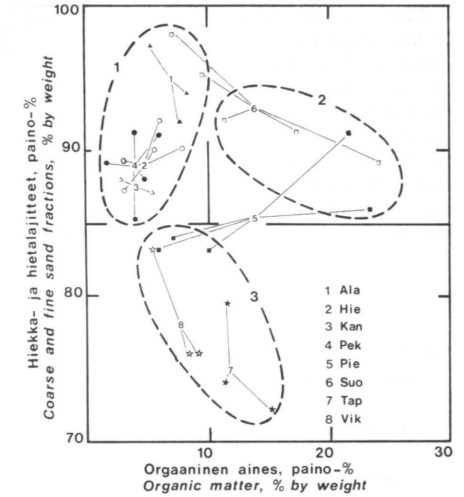
Taimitarha Nursery	Maaperällinen tunnus - Soil variable						Tiheys Bulk density	Ainestiheys Density of solids
	Hiekka Coarse sand	Hietä Fine sand	Hiesu Silt	Saves Clay	Orgaaninen aines Organic matter			
	paino-% of weight							
Alakärppä	52±5,2	43±3,7	4,3±0,9	2,0±0,0	7,2±1,0	1,31±0,05	2,45±0,02	
Hietikko	46±3,4	43±3,3	5,4±0,4	5,0±0,5	4,9±0,8	1,33±0,04	2,53±0,16	
Kankaanranta	29±16,3	58±16,0	7,0±0,0	5,5±0,5	4,1±1,2	1,35±0,07	2,57±0,04	
Pekolampi	53±3,8	36±3,9	8,4±0,9	2,8±0,4	4,1±0,6	1,44±0,07	2,59±0,01	
Pieksämäki	32±3,3	51±2,9	12,2±3,0	3,7±0,6	21,0±7,9	0,90±0,16	2,31±0,12	
Suonenjoki	64±3,0	29±1,7	5,0±1,3	2,0±0,3	14,0±3,1	0,83±0,08	2,34±0,08	
Tapionpelto	36±2,0	39±0,6	19,3±2,2	5,7±0,8	12,6±1,2	0,79±0,03	2,44±0,02	
Vikom	51±2,0	27±1,0	9,0±0,5	12,7±2,0	7,7±1,2	0,89±0,04	2,52±0,02	
X̄	41±2,4	40±2,0	8,7±1,0	4,5±0,6	8,7±1,0	1,12±0,05	2,49±0,02	
F-arvo								
F-ratio	8,09***	6,35***	5,59***	17,5***	2,14	7,01***	2,28	
Vapausasteet								
Degrees of freedom	7,24	7,24	7,24	7,24	7,25	7,25	7,25	



Kuva 2. Taimitarhamaiden muokkaukerrosten keskimääräinen massa ja tilavuus.

Figure 2. Average mass and volume composition of the nursery soil tillage layer.

Kivennäisaineksen ja orgaanisen aineksen erilaisen alkuainekoostumuksen ja rakenteen vuoksi niiden tilavuus- ja massasuhteet ovat erilaiset. Keskimääräisiä arvoja käyttäen on laskettu taimitarhamaiden tilavuus ja massa pinta-alayksikköä kohti (kuva 2). Laskennassa on oletettu että muokkausvyvyys on 20 cm, kivennäisaineksen ainestiheys $2,65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (Heinonen 1957 a) ja orgaanisen aineksen ainestiheys $1,50 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (Segeberg 1956). Orgaanisen aineksen vaikutus maan ominaisuuksiin on ilmeinen. Maat, joissa sen osuus on liki 10 painoprosenttia tai yli näyttävät muodostavan oman ryhmänsä, missä kiinteän aineksen tilavuus on pienempi kuin muissa. Massana ilmaistuna ero ryhmien välillä on suurempi. Tässä on kuitenkin huomattava että Vikomin ja Tapionpellon taimitarhojen maat sisältävät kohtalaisen runsaasti hienoja kivennäislajitteita, jotka vaikuttavat maan huokosuuteen samansuuntaisesti orgaanisen aineksen kanssa. Tämä selittää osittain, miksi näiden taimitarhojen maat ovat ominaisuuksiltaan samanlaisia kuin Pieksämäen ja Suonenjoen taimitarhojen maat. Edelleen on pidettävä mielessä, että kuvaa 2 laadittaessa on lähdetty liikkeelle muokkaukerroksen kokonaishuokostilavuudesta. Käyttäen maan tiheys- ja ainestiheystunnuksia tämä tilavuus on jaettu eri ositeisiin. Erityisesti tiheyden ja ainestiheyden määrittäminen vaikeutuu, kun tutkittava näyte sisältää siihen mekaanisesti sekoitunutta orgaanista ainet-



Kuva 3. Taimitarhamaiden luokittelu niiden lajitekoostumuksen ja orgaanisen aineksen määrän suhteen.

Figure 3. Ordination of the nursery soils according to their particle size class and content of organic matter.

ta. Ainesosat pyrkivät erottumaan näytteessä ja edustavan erän saaminen mittaukseen on hankalaa.

Taimitarhamaat jakautuivat tilavuus- ja massasuhteiden pohjalta kahteen ryhmään. Alakärppän, Hietikon, Kankaanrannan ja Pekolammen maat sisältävät vähän orgaanista ainetta. Muissa taimitarhoissa sitä on toisinaan lisätty maahan melkoisikin määriä.

Tutkitut näytteet sijoitettiin koordinaatioon (kuva 3), jonka X-akselilla on orgaanisen aineksen määrä ja Y-akselilla hiekka- ja hietalajitteiden yhteisuuus. Käyttämällä hiekan ja hiedan yhteismäärää 85 % (vastaa saveksen ja hiesun yhteismäärää 15 %) sekä orgaanisen aineksen määrää 10 % raja-arvoina, voidaan erottaa kolme maatyypiryhmää:

1. Karkearakeiset ($H_k + H_t \geq 85$ %) ja vähän (≤ 10 %) orgaanista ainesta sisältävät maat
2. Karkearakeiset ($H_k + H_t \geq 85$ %) ja runsaasti (> 10 %) orgaanista ainesta sisältävät maat
3. Kohtalaisesti hienoja lajitteita ($H_s + S = 15-30$ %) ja vaihtelevia määriä orgaanista ainesta sisältävät maat

Tästä kaksiolotteisesta kuvasta (vrt. kuva 2) käy myös paremmin ilmi, miksi Tapijonpellon ja Vikomin maat olivat sijoittuneet samaan ryhmään Pieksämäen ja Suonenjoen maiden kanssa, vaikka niiden orgaanisen aineksen määrä on vain 8–12 %. Kohtalainen määrä orgaanista ainetta vaikuttaa yhdessä hienojen maalajitteiden kanssa maan kokonaishuokostilaan samalla tavalla kuin suuri määrä turvetta karkearakeisessa maassa.

32. Taimitarhamaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia

321. Viljavuustunnuksen väliset riippuvuudet

Tarkasteltaessa kasvualusta vesitaloudellisia ominaisuuksia ja ravinteiden pidätkykyä on niitä kuvaavia tunnuksia ensisijaisesti pyrittävä selittämään sen kivennäislajitekostumuksella, siinä olevalla orgaanisen aineksen määrällä sekä sen tilavuus- ja massasuhteilla. Selittävien muuttujien väliset riippuvuudet on myös otettava huomioon. Happamuutta ja johtolukua lukuunottamatta kaikkien muuttujien väliset yksinkertaiset korrelaatiokerroimet on esitetty taulukossa 2. Korrelaatioanalyysistä käy ilmi, että yksittäisten maalajitteiden osuuksien ja maan fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien väliset korrelaatiot ovat huomattavan heikot. Hiekka- ja hietalajitteiden ja joidenkin tunnuksen välillä vallitsee negatiivinen korrelaatio. Hietalajite on kuitenkin positiivisesti korreloinut pF 2,0:n vesimäärään ja hyötykapasiteettiin. Tämä havainto on täysin yhteneväinen Anderssonin ja Wiklertin (1972) tulosten kanssa, hietalajitteen huokoskokojakauma on lähes optimaalinen maan vesipotentiaalia pF 2,0 ajatellen. Hiesulla on taas selvä positiivinen vaikutus tutkittuihin maan ominaisuuksiin. Saveksen määrä sen sijaan ei vaikuta mihinkään muuhun tunnukseen kuin pF 4,2 vastaavaan vesipitoisuuteen, korrelaatio on positiivinen.

Maan orgaanisen aineksen määrän ja usean maatunnuksen välillä vallitsee selvä riippuvuus (taulukko 2). Esimerkiksi maan vesitaloudellisiin ominaisuuksiin tämä tekijä vaikuttaa sekä suoraan rakenteellisesti että välillisesti muuttamalla huokostilavuutta. Vi-

meksimainittu määritettiin tässä laskennallisesti maan tiheyden ja ainestiheyden avulla (yhtälö 1), joihin etenkin orgaanisen aineksen määrä mutta myös kivennäislajitekostumus vaikuttavat (Heinonen 1960 a). Mielenkiintoista on, että orgaaninen aines ei näytä vaikuttavan vesipotentiaalia pF 2,0 vastaavaan maaveden määrään, mutta on positiivisesti korreloinut kenttäkapasiteettia vastaavaan ilmatilan kanssa.

Kivennäislajitekostumuksen vähäinen vaikutus tutkittuihin maan ominaisuuksiin on jossain määrin yllättävä. Osittain tämä selittyy sillä, että perusmaat ovat jokseenkin samankaltaiset; pyritäänhän taimitarhat sijoittamaan määrätynlaisille maatyypeille. Tulokseen saattaa myös vaikuttaa se, että mahdollinen luokkien sisäisen vaihtelun vaikutus jää huomioon ottamatta kun tämän pienehkön aineiston puitteissa päädyttiin tarkastelemaan vain kivennäismaan valtalajitteita (Hk, Ht, Hs, S). Lajiteosuuksien keskinäisten korrelaatioiden tarkastelu vaikuttaa myös siitä, että ne perustuvat prosenttisiin lukuihin, joiden summa on vakio. Siten hiekan ja hiedan osuuksien negatiivinen korrelaatio johtuu niiden yhteismäärän vähäisestä vaihtelusta, kun osuuksissa tapahtuvat muutokset ovat useimmiten vastakkaiset. Edellistä merkityksellisempää on kuitenkin se, että mainitut korrelaatiot esitetään yksinkertaisina, jolloin kahden muuttujan väliseen korrelaatioon saattaa vaikuttaa yksi tai useampi muu muuttuja. Esimerkiksi kuvia 2 ja 3 tarkasteltaessa maatyypiryhmä 3:n tilavuus- ja massasuhteiden todettiin selittyvän orgaanisen aineksen ja hienojen maalajitteiden osuuksien yhteisvaikutuksella. Tässä aineistossa orgaanisen aineksen määrä maassa vaihtelee jokseenkin tasaisesti 2 ja 25 painoprosentin välillä, joten sen mahdolliset vaikutukset muihin muuttujiin ilmenevät hyvin selvinä ja saattavat kokonaan peittää muiden muuttujien väliset korrelaatiot. Poistamalla orgaanisen aineksen vaikutus huomataankin, että kivennäislajitteiden vaikutus maan ominaisuuksiin vahvistuu (osittaiskorrelaatiokerroimet taulukossa 2), jääden kuitenkin orgaanisen aineksen vaikutuksen rinnalla vähäiseksi. Laskemalla vastaavasti kivennäismaalajitteiden vaikutuksesta puhdistetut orgaanisen aineksen korrelaatiot muiden muuttujien kanssa voitiin todeta, että riippuvuudet lähes poikkeuksetta vahvistuivat.

Taulukko 2. Mitattujen ja laskettujen maatunnuksen väliset yksinkertaiset korrelaatiot sekä vastaavat osittaiskorrelaatiot kun maan orgaanisen aineksen määrän vaikutus on eliminoitu.

Table 2. Simple correlations between measured and calculated soil variables as well as partial correlations after elimination of the effect of amount of soil organic matter.

Muuttuja Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Yksinkertaiset korrelaatiot ¹⁾ – Simple correlations														
Hiekka Coarse sand	1	–												
Hietä Fine sand	2	–0,87	–											
Hiesu Silt	3	–0,50	0,10	–										
Saves Clay	4	–0,17	–0,17	0,26	–									
Orgaaninen aines Organic matter	5	–0,06	–0,01	0,21	–0,11	–								
Tiheys Bulk density	6	–0,02	0,22	–0,30	–0,20	–0,82	–							
Ainestiheys Density of solids	7	–0,06	0,04	–0,05	0,16	–0,95	–0,74	–						
Huokostilavuus Pore space	8	–0,01	–0,24	0,33	0,24	0,76	–0,99	–0,65	–					
pF 2,0	9	–0,66	0,47	0,70	–0,03	0,04	0,02	0,11	–0,01	–				
pF 4,2	10	–0,19	–0,03	0,32	0,43	0,75	–0,76	–0,67	0,73	0,10	–			
Hyötykapasiteetti Available water	11	–0,60	0,49	0,58	–0,18	–0,17	0,26	0,30	–0,24	0,94	–0,21	–		
Ilmatila pF 2,0:ssa Air space at pF 2.0	12	0,41	–0,49	–0,13	0,22	0,54	–0,81	–0,56	0,81	–0,57	0,52	–0,74	–	
K.V.K. pH 4,5:ssa C.E.C. at pH 4.5	13	0,13	–0,13	0,03	–0,12	0,77	–0,72	–0,75	0,68	–0,07	0,62	–0,25	0,57	–
K.V.K. pH 8,0:ssa C.E.C. at pH 8.0	14	–0,20	0,01	0,45	0,18	0,85	–0,79	–0,76	0,76	0,21	0,80	–0,03	0,48	0,73
Osittaiskorrelaatiot ¹⁾ – Partial correlation														
Hiekka Coarse sand	1	–												
Hietä Fine sand	2	–0,87	–											
Hiesu Silt	3	–0,50	0,11	–										
Saves Clay	4	–0,18	–0,17	0,29	–									
Orgaaninen aines Organic matter	5				–									
Tiheys Bulk density	6	–0,12	0,39	–0,22	–0,51	–								
Ainestiheys Density of solids	7	–0,39	0,15	0,52	0,19	–0,28	–							
Huokostilavuus Pore space	8	0,09	0,38	0,26	0,50	–0,99	0,35	–						
pF 2,0	9	–0,65	0,47	0,70	–0,02	0,10	0,53	–0,06	–					
pF 4,2	10	–0,22	–0,04	0,24	0,77	–0,39	0,22	0,38	–0,10	–				
Hyötykapasiteetti Available water	11	–0,62	0,50	0,64	–0,20	0,22	0,47	–0,18	0,97	–0,13	–			
Ilmatila pF 2,0:ssa Air space at pF 2.0	12	0,52	–0,59	–0,30	0,33	–0,75	–0,16	0,73	–0,71	0,20	–0,78	–		
K.V.K. pH 4,5:ssa C.E.C. at pH 4.5	13	0,29	–0,20	–0,22	–0,05	–0,23	–0,03	0,22	–0,17	0,08	–0,19	0,28	–	
K.V.K. pH 8,0:ssa C.E.C. at pH 8.0	14	–0,29	0,02	0,50	0,51	–0,33	0,33	0,34	0,33	0,46	–0,61	0,52	0,20	–

1) n = 32; (p 0,05) = 0,35, (p 0,01) = 0,45, (p 0,001) = 0,55

Maalajitteista hiesu ja saves vaikuttavat potentiaalista kationinvaihtokapasiteettia nostavasti. Orgaanisen aineksen vaikutus vaihtokapasiteettitunnuksiin on kuitenkin voimakkaampi, onhan savesköyhien kivennäismaiden vaihtokapasiteetti ensin mainitun rinnalla olematon (ks. esim. Scheffer & Schachtschabel 1976). Taimitarhamaiden tiheys ja kationinvaihtokapasiteetin välillä vallitsee selvä negatiivinen korrelaatio (taulukko 2). Westman (1981) onkin todennut samansuuntaisen korrelaation eräissä luonnontilaisissa turpeissa ja arvioinut sen johtuvan maatumisprosessissa tapahtuvista rakenteellisista muutoksista. Taimitarhamaissa ei kuitenkaan ole kyse siinä olevan orgaanisen aineksen maatumisen vaihtelun vaikutuksesta, vaan orgaanisen aineksen ja kivennäisaineksen suhteen vaihtelusta; mitä enemmän orgaanista ainesta hiekkaisessa maassa, sitä suurempi on maa-aineksen kationinvaihtokapasiteetti ja sitä pienempi sen tiheys.

322. Tiheys ja ainestiheys

Taimitarhamaiden tiheystunnuksukset on esitetty taulukossa 1 ja liitteessä 1. Maaperällisistä tekijöistä orgaaninen aines on voimakkaimmin korreloitu tiheyden kanssa (taulukko 2). Korrelaatio on kuitenkin epälineaarinen (kuva 4), ja logaritmoimalla orgaanisen aineksen määrä kerroin vahvistuu ($r_{\ln 5\ 6} = -0,83^{***}$) jonkin verran. Edellisen lisäksi saveksen ja hiesun osuudet ovat heikosti korreloituneet maan tiheyteen (osittaiskorrelaatiot taulukossa 2).

Tiheyden vaihtelu pyrittiin selittämään valikoivalla regressioanalyysillä. Riippumattomina muuttujina mallissa käytettiin maalajitteiden osuuksia ($X_1 \dots X_4$) sekä orgaanisen aineksen määrää (X_5). Tiheyden vaihtelun parhaaksi selittäjäksi osoittautui kuten odotettua orgaanisen aineksen määrän logaritmi ($\ln X_5$) ($R^2 = 0,695$), savekipitoisuuden (X_4) mukaan ottaminen lisäsi mallin selitysoimaa jonkin verran. Malli saa siten seuraavan muodon:

$$(4) \quad Y = 2,0405 - 0,0231 X_1 - 0,4098 \ln X_5$$

$$R^2 = 0,756$$

Heinosen (1960 a) mukaan peltomaiden tiheys riippuu maan humuspitoisuudesta seuraavasti:

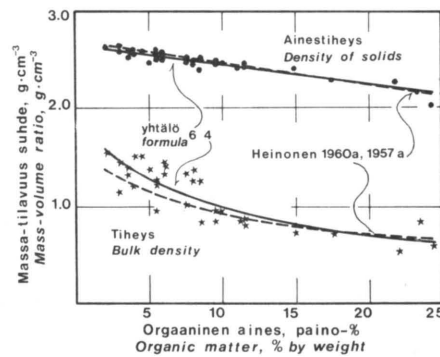
$$(5) \quad y = 1,59 - 0,65 \log X$$

$$R^2 = 0,722$$

Saveksen määrä alentaa tiheyttä, ja hiekan nostaa sitä. Tulos on siten hyvin yhdenmukainen tässä saadun kanssa (kuva 4).

Taimitarhamaiden ainestiheys on esitetty taimitarhoittain taulukossa 1 sekä näytekohteisesti liitteessä 1. Orgaaninen aines on jälleen voimakkaimmin korreloitu selitettävään muuttuunaan, vahva korrelaatio on negatiivinen (taulukko 2, kuva 4). Lisäksi vallitsee hiesupitoisuuden ja ainestiheyden välillä positiivinen vuorosuhde, hiekkalla sen sijaan negatiivinen (osittaiskorrelaatiot taulukossa 2). Heinosen (1957 a) mukaan muokkauskerroksen humuksen määrä selittää 92,2 % peltomaan ainestiheyden vaihtelusta (kuva 4), kun taas savekipitoisuus humusköyhässä pohjamaassa selittää 67,2 % sen vaihtelusta. Ensimmäinen korrelaatio on negatiivinen ja viimeksi mainittu positiivinen.

Tasotusmalliin otettiin samat riippumattomat maaperälliset muuttujat kuin tiheyttä selittävää mallia muodostettaessa ($X_1 - X_5$).



Kuva 4. Taimitarhamaiden massa-tilavuussuhteet suhteessa niiden orgaanisen aineksen määrään.

Figure 4. Density data of the nursery soils in relation to their content of organic matter.

Orgaanisen aineksen määrä selitti 91 % Y-muuttujan vaihtelusta, hiesuosuuden lisääminen malliin nosti sen selitystasetta hieman:

$$(6) \quad Y = 2,6247 + 0,0042 X_3 - 0,0207 X_5$$

$$R^2 = 0,935$$

Tämän mukaan hiesulla, joka ominaisuuksiensa puolesta on lähinnä rinnastettavaksi savekseen, on heikko positiivinen vaikutus ainestiheyteen. On mahdollista että tutkittujen maiden hiesulajitteen ainestiheys on keskimääräisesti suurempi kuin muiden lajitteiden. Karkeammat lajitteet ovat kvartsipitoisempia, kun taas raskaammat kiilteet rapautuvat helpommin ja rikastuvat hienompiin lajitteisiin. Kaila ja Ryti (1968) toteavatkin että hietä, hiesu ja saveslajitteiden mineraalikoostumus saattaa vaihdella niiden erilaisesta rapautumisasteesta johtuen.

323. Vesitaloudelliset ominaisuudet

Taimitarhamaiden vesitaloudellisia ominaisuuksia tarkasteltiin kokonaishuokostilavuuden, joka likimain kuvaa myös pF 0:aa vastaavaa vesipitoisuutta (esim. Hillel 1971),

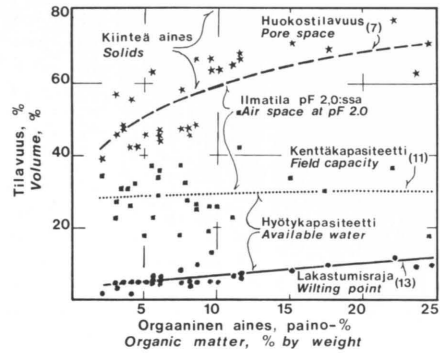
kenttäkapasiteettia ja lakastumisrajaa vastaavien vesipitoisuuksien, maan hyötykapasiteetin sekä kenttäkapasiteettia vastaavan ilmatilan pohjalta. Näistä tunnuksista pF 2,0:aa ja 4,2:ta vastaavat vesipitoisuudet ovat suoranaisia mittaustuloksia, muut ovat laskennallisesti saatuja tunnuksia.

Kokonaishuokostilavuus riippuu suoraan maan tiheydestä ja ainestiheydestä sekä välillisesti näihin vaikuttavista maaperällisistä tekijöistä. Verrattuna karkearakeisiin kivennäismaihin yleensä (esim. Heinonen 1957 b) kyseiset taimitarhamaat ovat melko ilmavia (taulukko 3, liite 1). Tähän on syynä maanparannuksessa lisätty heikosti maatunutta rakkaturve, jonka huokoisuus ratkaisevasti poikkeaa karkearakeisen kivennäismaan huokoisuudesta (Andersson & Wikler 1972, Päivänen 1973, Scheffer & Schachtschabel 1976). Tarkasteltaessa huokostilavuuden ja maaperällisten tekijöiden välistä riippuvuutta (taulukko 2) huomataan, että orgaaninen aines jälleen vaikuttaa voimakkaimmin selitettävään muuttuunaan. Riippuvuus on epälineaarinen (kuva 5), ja logaritmuunnoksen jälkeen kertoimen itseisarvo kasvaa jonkin verran ($r_{\ln 5\ 8} = 0,77$). Maalajitteista saveksen määrä korreloi positiivisesti ja hiekan määrä negatiivisesti huokostilavuuden kanssa, vii-

Taulukko 3. Eräitä taimitarhamaiden vesitaloudellisia ominaisuuksia kuvaavia maatumuksia, tilastollisten testien selitykset taulukon 1 tekstissä.

Table 3. Soil variables describing hydrological properties of the nursery soils studied, for statistical testing legend see table 1.

Taimitarha Nursery	Maatunnus - Soil variable				
	Huokostilavuus Pore space	pF 2,0	pF 4,2	Hyötykapasiteetti Available water	Ilmatila pF 2,0:ssa Air space at pF 2.0
	tilav. % of soil.				
Alakärppä	46±1,2	23±3,2	4,3±0,3	19±3,0	23±2,1
Hietikko	48±1,9	28±1,9	4,2±0,5	24±1,8	19±4,7
Kankaanranta	47±2,0	32±3,2	5,0±1,0	27±4,8	15±3,0
Pekolampi	44±2,6	31±1,6	3,4±0,6	28±1,8	13±4,1
Pieksämäki	61±5,4	37±4,0	9,5±2,0	27±2,1	25±6,3
Suonenjoki	65±2,3	21±2,5	6,8±1,1	15±2,2	43±2,6
Tapionpelto	68±1,2	42±4,9	7,0±0,6	35±0,3	25±5,8
Vikom	64±1,2	25±0,9	9,3±1,4	15±0,7	40±0,3
\bar{X}	55±1,9	30±1,5	6,3±0,6	24±1,4	26±2,4
F-arvo	7,78***	4,96**	3,37*	6,98***	5,86***
F-ratio					
Vapausasteet	7,25	7,22	7,24	7,22	7,22
Degrees of freedom					



Kuva 5. Taimitarhamaiden kokonaishuokostilavuus ja vedenpidätysominaisuudet suhteessa niiden orgaanisen aineksen määrään. Kenttäkapasiteetin vesimäärää kuvaava tasoisuusviiva on laskettu suhteessa kokonaishuokostilavuuteen (yhtälö 11).

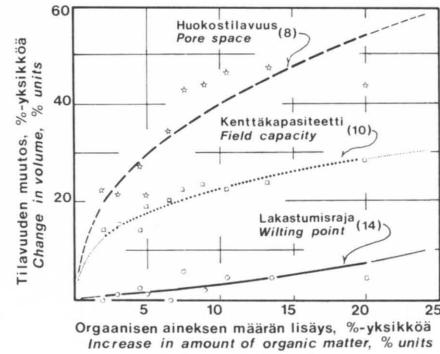
Figure 5. Total pore space and water retention properties of the nursery soils in relation to their content of organic matter. The regression describing the water content at field capacity is calculated on the basis of the total pore space (formula 11).

meksi mainittu korrelaatio on kuitenkin melko heikko. Huokostilavuuden vaihtelua selittävään malliin otettiin valinnaisiksi selittäjiksi maalajitteiden osuudet $X_1 - X_4$ sekä maan orgaanisen aineksen määrä (X_5). Viimeksi mainitun muuttujan logaritmi selitti yksinään n. 60 % huokostilavuuden vaihtelusta. Seuraavaksi paras selittäjä oli hiekka- ja hietalajitteiden yhteismäärä ($X_1 + X_2$), jolla oli negatiivinen vaikutus selittävään muuttujaan. Mainittakoon tässä selitykseksi karkeiden lajitteiden mukaantulemiseen malliin, että niiden yhteismäärän korrelaatio huokostilavuuden kanssa oli hieman vahvempi kuin saveslajitteen vastaava korrelaatio. Regressioyhtälö sai seuraavan muodon:

$$(7) \quad Y = 72,2615 - 0,4848 (X_1 + X_2) + 12,5120 \ln X_5$$

$$R^2 = 0,678$$

Tasoisuusmalli on yhteneväinen kirjallisuudessa esitettyjen tulosten kanssa. Karkearaikosten maiden huokostilavuus on pienempi kuin hienorakeisten ja orgaanisen aineksen määrä vaikuttaa positiivisesti huokostilavuuteen (esim. Heinsonen 1960a, Andersson &



Kuva 6. Maahan lisätyn orgaanisen aineksen määrän vaikutus maan kokonaishuokostilavuuteen sekä vedenpidätysominaisuuksiin.

Figure 6. Influence of organic matter addition on total pore space and water retention properties of soil. The increase in organic matter is calculated as the difference between before and after removal of organic matter.

Wiklert 1972, Päivänen 1973, Scheffer & Schachtschabel 1976).

Orgaanisen aineen (turpeen) lisäämisen vaikutus kokonaishuokostilavuuteen on esitetty kuvassa 6, joka pohjautuu näyteotokseen, josta tunnuksat on määritetty sekä "luonnontilaisesta" että orgaanisesta aineksesta puhdistetusta näytteestä. Tässä tarkastellut muutokset on saatu näiden periaatteiden mittausten erotuksena. Riippuvuuden kuvaamiseksi on käytetty yhtälömuoto $y = ax^b$, missä $b > 0$. Syynä yhtälövalintaan oli tavoite aikaansaada malleja jotka kulkevat origon kautta tai ainakin lähestyvät sitä rajattomasti. Kuvassa 6 piirretty käyrä (yhtälö 8) osoittaa että huokostilavuuden kasvu on suhteellisesti suurin pienillä orgaanisen aineen (turpeen) lisäyksillä. Toisaalta on huomattava, että huolimatta käytettyä satunnaisotantaa, valitut näytteet ovat selvästi hiekkavaltaisempia kuin aineisto keskimäärin. Tämä havainto koskee erityisesti niitä näytteitä, joissa orgaanisen aineksen vaikutus ilmenee voimakkaammin (ks. myös edempänä).

$$(8) \quad \Delta Y = 14,8852 \cdot \Delta X_5^{0,4339}$$

$$R^2 = 0,765$$

Kenttäkapasiteettia vastaava maan vesipitoisuus on esitetty taimitarhoittain ja keskimäärin koko aineistossa taulukossa 3 sekä näytekohtaisesti liitteessä 1. Maaperällisistä tekijöistä hiekka-, hieta- ja hieslajitteiden osuudet vaikuttivat selvästi kenttäkapasiteetin vesimäärään (taulukko 2). Hiekkaosuuden kasvaessa maassa olevan veden määrä pieneni ja kahden muun lajitteen osuuskien kasvaessa veden määrä kasvoi. Maalajitteiden erisuuntaiset vaikutukset selittyvät niiden vaikutuksella maan huokosjakaumaan. Hiekkaosuuden kasvaessa isojen huokosten osuus kasvaa ja hiettaosuuden kasvaessa ennen kaikkea keskikokoisten huokosten osuus jakaumasta kasvaa. Viimeksi mainittu huokosfraktio vaikuttaa suoraan pF 2,0:aa vastaavaan vesimäärään. On merkillepantavaa, että tämän aineiston puitteissa maan orgaanisen aineksen määrä ei näytä vaikuttavan maaveden jännitystä pF 2,0 vastaavaan vesimäärään. Tarkasteltuna yksinkertaisena korrelaationa on vuorosuhde aivan olematon, eikä korrelaatio parane eliminoimalla maalajitteiden vaikutusta siihen. Kivennäislajitteiden pohjalta muodostetun yhtälön parhaaksi selittäjäksi osoittautuivat maan hieta- ja hiespitoisuudet (X_2, X_3):

$$(9) \quad Y = 10,5609 + 0,2546 X_2 + 1,0292 X_3$$

$$R^2 = 0,644$$

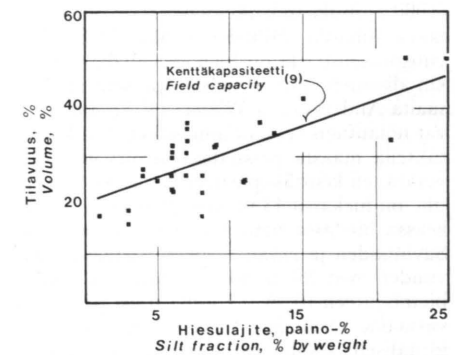
Kenttäkapasiteetin vesimäärä on esitetty hiespitoisuuden funktiona kuvassa 7, suoraan laadittaessa hiedan määrä maassa on vakioitu taimitarhamaiden keskimääräiselle tasolle (taulukko 1). Näiden tulosten valossa näyttää siis siltä että maan orgaanisen aineksen määrä ei vaikuta kenttäkapasiteettia vastaavaan vesimäärään. Toisaalta, jos tarkastellaan orgaanisen aineen (turpeen) lisäämisen vaikutusta veden jännitystä pF 2,0 vastaavaan vesimäärään (kuva 6), riippuvuus on varsin kiinteä:

$$(10) \quad \Delta Y = 10,4128 \cdot \Delta X_5^{0,3438}$$

$$R^2 = 0,870$$

Mallin (10) mukaan jo pieni orgaanisen aineksen lisäys 6–7 painoprosenttia antaa lähes maksimaalisen kasvun kenttäkapasiteetin vesimäärässä. Selitys tälle ristiriitaisu-

delle löytyy maiden kivennäislajitekoostumuksesta. Siitä huolimatta että näytteet, jotka muodostavat pohjan kuvassa 6 esitetylle tarkastelulle, on saatu ositetulla satunnaisotannalla, niiden lajitekoostumus poikkeaa systemaattisesti tutkittujen maiden keskimääräisestä koostumuksesta. Hiekan prosentuaalinen osuus erityisesti niissä näytteissä, jotka edustavat pieniä tai kohtalaisia orgaanisen aineksen lisäyksiä, suurempi kuin koko aineistossa keskimäärin (taulukko 1, liite 1). Tämän johdosta orgaanisen aineksen vaikutus kenttäkapasiteetin vesimäärään ilmenee näin selvänä kuvassa 6. Vaikeammin selitettävissä on että orgaanisen aineksen määrällä ei ole oletettua vaikutusta kenttäkapasiteetin vesipitoisuuteen kun riippuvuutta tarkastellaan koko aineiston puitteissa. Syyt tähän odottamattomaan tulokseen on etsittävä perusmaan ja maanparannusaineena käytetyn orgaanisen aineen kokonaishuokostilavuuksissa ja huokosjakaumissa. Tarkastelemalla kuvassa 10 esitettyä kivennäismaafraktioiden ja joidenkin taimitarhamaanparannuksessa mahdollisten maanparannusaineiden vesitaloudellisia ominaisuuksia, huomataan että lukuunottamatta hiekkaa, käyrät eivät sanottavasti poikkea toisistaan käyttökelpoisen veden suhteen t.s. pF 2,0:n ja pF 4,2:n välillä. Sen sijaan alueella pF 0:n ja pF 2,0:n välillä orgaanisten substraattien vedenpidätysominaisuudet eroavat täysin kivennäislajitteiden ominaisuuksista. Näyttää siis



Kuva 7. Kenttäkapasiteettia vastaavaa vesimäärää suhteessa maan hiespitoisuuteen.

Figure 7. Water content at field capacity in relation to amount of silt in the soil.

siltä että maatumattoman rahkaturveerukseen lisääminen hietaisiin kivennäismaihin vaikuttaa ensisijaisesti suurten huokosten ($\sigma \geq 50 \mu\text{m}$) osuuteen kokonaishuokosjakaumasta. Toisaalta kokonaishuokostilavuuden nostaminen lisää myös kenttäkapasiteettia määräävien huokosten kokonaismäärää, mutta koska tämän huokosfraktion osuus on jokseenkin yhtä suuri hietaisissa kivennäisissä ja kyseisissä orgaanisissa substraateissa, muutos ei ilmene kuvasta 5 missä Y-akselin yksikkö on suhteellinen. Tätä ajatuskulkua saa tukea kun tarkastellaan kenttäkapasiteettia vastaavaa ilmatilaa kokonaishuokostilavuuden funktiona:

$$(11) \quad Y = 27,1755 + 0,9675 X_8$$

$$R^2 = 0,656$$

Orgaanisen aineksen määrän kasvaessa 2:sta 25:een prosenttiin huokostilavuus kasvaa 25:llä prosenttiyksiköllä, ilmatila lähes nelinkertaistuu, mutta kenttäkapasiteettia vastaava veden määrä säilyy jokseenkin vakiona (kuva 5).

Koko aineistossa kenttäkapasiteettia vastaava ilmatila vaihteli välillä 6 ja 53 tilavuusprosenttia (taulukko 3, liite 1). Kaksi ääriarvoa erottuvat jonkin verran muista, vaihtelualueelle melko tasaisesti jakautuvista havainnoista, ja etenkin pari 10 tilavuusprosenttia pienempää havaintoa saattavat olla analyysivirheiden aiheuttamia. Heinosen (1960 a) mukaan karkeiden hietamaiden vastaava ilmatila vaihtelee välillä 20–30 tilavuusprosenttia ja on hienossa hiedassa niinkin alhainen kuin 10 tilavuusprosenttia. Toisaalta Andersson ja Wiklert (1972) ilmoittavat nojautuen laajaan aineistoon, että kuivatuksella maasta poistettavissa olevan veden määrä, eli kenttäkapasiteettia vastaava ilmatila, on hiekassa 43 tilavuusprosenttia ja karkeassa hiedassa vain 4,3 tilavuusprosenttia. Savimaiden ja erään turpeen vastaavat tilavuudet ovat 20 ja 61 prosenttia. Karkean hietalajitteen (0,06–0,2 mm) suuri pF 2,0:aa vastaava vesimäärä selittyy sen huokosten ideaalisella koolla. Tässä tutkittujen taimitarhamaiden hietapitoisuudella onkin negatiivinen vaikutus ja hiekkaoosuudella heikko positiivinen vaikutus kenttäkapasiteettia vastaavaan ilmatilaan. Muista maaperällisistä tun-

nuksista orgaanisen aineksen määrä on selvästi korreloinut ilmatilan kanssa. Ottaen huomioon ilmatilan laskentatapaa (yhtälöt 1 ja 3) on selvää että maan tiheydellä ja aineistihäydellä on voimakas vaikutus siihen, tiheys yksinään selittää yli 60 % kenttäkapasiteetin ilmatilan vaihtelusta. Yhdessä tämän muutujan kanssa maan hiesu- ja hietalajitteiden osuudet sekä orgaanisen aineksen määrä selittävät siten lähes 90 % ilmatilan vaihtelusta:

$$(12) \quad Y = 102,8565 - 0,2289X_2 - 1,0674X_3 - 0,6352X_4 - 47,6336X_6$$

$$R^2 = 0,894$$

Johtuen selittäjien välisistä korrelaatioista malli on kuitenkin nähtävä kokonaisuutena, eikä yksittäisten muuttujien vaikutuksesta selitettävään muuttujaan ole syytä tehdä johtopäätöksiä.

Taimitarhamaiden lakastumisrajaa (pF 4,2) vastaava vesimäärä on keskimääräisesti ottaen alhainen (taulukko 3, liite 1), mikä selittyy maiden kivennäislajitteenkoostumuksella. Heinosen (1957 b) mukaan karkean hiedan lakastumisrajan vesipitoisuus on 2 ja hienon hiedan 10 tilavuusprosenttia. Andersson ja Wiklert (1972) ilmoittavat vain noin kymmenesosan tästä karkean hiedan vesipitoisuudeksi, 25 tilavuusprosenttia saveksen ja 7 tilavuusprosenttia erään turpeen lakastumisrajoiksi. Maaperällisistä tunnuksista orgaaninen aines korreloi voimakkaammin tämän muuttujan kanssa, mikä on luonnollista ottaen huomioon että rakkasammaleet sisältävät mikrosoluja joissa maavesi voi pidettyä voimakkaasti. Edelleen on lakastumisrajaa vastaava vesipitoisuus positiivisesti korreloinut saveslajitteen kanssa ja muista maatumnuksista on mainittava erityisesti kokonaishuokostilavuus. Syyt viimeksi mainittuun korrelaatioon on kuitenkin etsittävä lakastumisrajan, huokostilavuuden ja orgaanisen aineksen välisessä multikollineaarisuudessa (taulukko 2, osittaiskorrelaatiot). Lakastumisrajan vesipitoisuutta kuvaavaan malliin otettiin kivennäismaalajitteet ja orgaanisen aineksen määrä sekä näiden lisäksi kokonaishuokostilavuus. Parhaiksi selittäjiksi osoittautuivat orgaanisen aineksen määrä (X_5) sekä maan savespitoisuus (X_4):

$$(13) \quad Y = 0,9636 + 0,4121X_4 + 0,3506X_5$$

$$R^2 = 0,823$$

Orgaanisen aineksen kokonaismäärän vaikutus maaveden jännitystä pF 4,2 vastaavaan vesipitoisuuteen ilmenee kuvasta 5. Tasoituskäyrää laadittaessa saveksen määrä on vakioitu taimitarhamaiden keskimääräiselle tasolle.

Tarkasteltaessa lakastumisrajan vesipitoisuudessa tapahtuvia muutoksia suhteessa maan orgaanisen aineksen määrässä tapahtuviin muutoksiin (kuva 6) huomataan että riippuvuusuhde nytkin on kiinteä:

$$(14) \quad \Delta Y = 0,1460 \cdot \Delta X_5^{1,3252}$$

$$R^2 = 0,646$$

Muutos lakastumisrajaa vastaavassa vesipitoisuudessa on kuitenkin tarkastelualueella ainoastaan 5–8 tilavuusprosenttiyksikköä. Joskin kasvu on selvä, on orgaanisen aineksen vaikutus lakastumisrajan vesipitoisuuteen sellaisenaan jokseenkin merkityksellisen etenkin kun tämä vesimäärä on kasveille käyttökelpottomassa muodossa. Muuttuja ei siis sinänsä ole mielenkiintoinen ekologisessa mielessä. Lakastumisraja saa konkreettista merkitystä vasta, jos sen vesipitoisuus suhteutetaan maan kokonaishuokostilavuuteen tai vielä mieluummin kenttäkapasiteettia vastaavaan vesipitoisuuteen. Kuvissa 5 ja 6 vyöhyke pF 2,0 ja pF 4,2 tasoituskäyrien välillä kuvaa taimitarhamaiden hyötykapasiteettia (yhtälö 2) t.s. maiden kykyä pitää vettä taimille käyttökelpoisessa muodossa. Lukuunottamatta kenttäkapasiteetin vesipitoisuutta kuvavaa mallia kuvassa 5, maan orgaaninen aines määrää välittömästi käyrien kulkua. Ensin mainitussa tapauksessa orgaanisen aineksen vaikutus on välillinen, koska kyseinen malli on saatu laskemalla kenttäkapasiteettia vastaava ilmatila kokonaishuokostilavuuden funktiona. Merkityksellistä on, että hyötykapasiteetti näyttää olevan riippumaton maan orgaanisen aineksen määrästä (ks. taulukko 2). Selitys tähän merkilliseen tulokseen lienee sama kuin edellä kenttäkapasiteetin ja orgaanisen aineksen määrän välistä riippuvuutta tarkasteltaessa. Tässä on kuitenkin otettava huomioon että lakastumisrajan vesivolyymin on kiinteästi ja positiivisesti riippuvainen

maan orgaanisen aineksen määrästä, joten on jopa mahdollista että hyötykapasiteetti voi laskea kun orgaanisen aineksen määrä kasvaa. On kuitenkin korostettava että lakastumisrajan vesivolyymin tapahtuva muutos on kenttäkapasiteetin vesivolyymin rinnalla vaatimatonta.

Maaperällisistä tunnuksista hiekka-, hietaja hiesulajitteiden osuudet korreloivat hyötykapasiteetin kanssa, ensiksi mainittuun lajitteen vaikutus on negatiivinen ja kahden muun positiivinen (taulukko 2). Monimuuttujamallissa (15) hiekan osuus kivennäislajitejakaumasta selittää yksinään 36 % hyötykapasiteetin vaihtelusta, hiesun mukaanottaminen nostaa selitysvoimaa 47 %:iin. Hiekan ja hiedan välisen korrelaation vuoksi tulee seuravaksi selittäjäksi malliin savesusuus. Sen jälkeen kun kivennäismaalajitteiden vaikutus maan hyötykapasiteettiin on summattu malliin edellä mainitulla tavalla, maassa olevan orgaanisen aineksen määrä vaikuttaa hyötykapasiteettia alentavasti. Osittaiskorrelaatioanalyysillä voitiin vahvistaa regressioanalyysin tässä suhteessa antama tulos.

$$(15) \quad Y = 35,2433 - 0,2311X_1 + 0,9170X_3 - 1,0048X_4 - 0,4561X_5$$

$$R^2 = 0,716$$

On korostettava että kaikkien maalajitteiden yhtäaikaan käyttäminen selittäjämuuttujina on jonkin verran arveluttavaa. Vaikka kyseessä on yksittäisiä pitoisuuksia, ne ovat keskenään korreloituneet, pitoisuuksien summa on vakio ja osuuksissa tapahtuvat muutokset muodostuvat usein vastakkaisiksi (ks. myös yhtälö (12)). Tämä selittää myös miksi hietalajite, huolimatta sen vahvasta korrelaatiosta hyötykapasiteetin kanssa, ei sisälly lopulliseen malliin. On mahdollista että olisi parempi ilmaista riippuvuudet tilavuussuhteiden avulla (kuva 2). Muodostettu malli on kuitenkin rakenteeltaan looginen, Anderssonin ja Wiklertin (1972) mukaan hiekan ja saveksen hyötykapasiteetit ovat 2,6 ja 17,3 tilavuusprosenttia. Karkealle hiedalle ilmoitetun hyötykapasiteetin (41,3 %) rinnalla ensinmainitut ovat hyvin pieniä. Saman tutkimuksen mukaan erään turpeen ja kuorihuumuksen kapasiteetit ovat myös selvästi hiedan kapasiteettia pienemmät: 27,2 ja vastaavasti 24,0 tilavuusprosenttia (ks. myös Päivä-

nen 1973). Tämän mukaan sekä karkeiden kivennäislajitteiden että orgaanisen aineksen osuukien kasvu hietaosuuden kustannuksella pienentää maan hyötykapasiteettiä; toisaalta on pidettävä mielessä että orgaanisen aineksen vaikutus hyötykapasiteettiin riippuu aineen laadusta, ennen kaikkea sen maatumisasteesta (ks. kuva 10). Myös Scheffer ja Schachtschabel (1976) kuvaavat eri maalajitteiden vedenpidätyskykyä yhtäpitävästi tässä saatujen tulosten kanssa. Tutkituissa taimitarhamaissa hyötykapasiteetti oli keskimäärin $24 \pm 1,4$ tilavuusprosenttia ja vaihteli välillä 8 ja 44 tilavuusprosenttia (taulukko 3, liite 1).

324. Sähköjohtokyky ja happamuus

Taimitarhamaiden johtoluku ja aktiivihappamuus on esitetty taimitarhoittain taulukossa 4. Johtolukuhavainnot edustavat redukoimattomia elektrolyyttipitoisuuksia, koska maanesteessä olevien vetyionien vaikutusta sähköjohtokykyyn ei ole eliminoitu. Tälle maatumukselle annetaan toisinaan huomattavan suuri paino kasvualustan ravinnetilan kuvaajana (esim. Puustjärvi 1973); sen ja minkään muun tässä mitatun maatumuksen

välillä ei kuitenkaan vallitse merkitsevää korrelaatiota. Tulos on luonnollinen, koska oletus johtoluvun ennusteavasta perustuu sen ja ravinneionikonsentraation väliseen riippuvuuteen.

Taimitarhamaiden aktiivihappamuus (pH_{H₂O}) vaihtelee välillä 4,0 ja 5,8 ja on keskimäärin $4,8 \pm 0,1$ (taulukko 4, liite 1). Vaihtelu on pH yksiköissä pieni, mutta asteikon logaritmisuuden vuoksi 1,8 pH-yksikön suuruisen lasku vastaa vetyionikonsentraation [H⁺] lähes satakertaistumista. Tutkittujen taimitarhojen maiden happamuus on laajasta vaihteluvälisestä huolimatta varsin lähellä optimaalista (esim. Benian 1965) metsäpuiden taimien kasvatamista ajatellen.

Viljavuuden ilmentäjänä maaperän happamuus on tärkeä, koska maan kemialliset, fysikaaliset ja biologiset prosessit kytkeytyvät monin tavoin siihen (Jansson 1978). Näin ollen on mielenkiintoista todeta, että aktiivihappamuus ei ole korreloinut minkään tässä mitatun maatumuksen kanssa. Toisaalta happamuustunnuksen merkitys on selvästi suurin kuvattaessa luonnollisia kasvupaikkoja vertailevalla asteikolla (esim. Holmen 1964, Westman 1981). Viljeltyjen tai keinotekoisien kasvualustojen ollessa kyseessä, kuten

Taulukko 4. Eräitä taimitarhamaiden ravinnetaloudellisia ominaisuuksia kuvaavia maatumuksia, tilastollisten testien selitykset taulukon 1 tekstissä.

Table 4. Soil variables describing chemical properties of the nursery soils studied, for statistical testing legend see table 1.

Taimitarha Nursery	Maatumus - Soil variable			
	K.V.K. pH 4,5:ssä C.E.C. at pH 4.5 m.e. · 100 g ⁻¹ meq. · 100 g ⁻¹	K.V.K. pH 8,0:ssa C.E.C. at pH 8.0 m.e. · 100 g ⁻¹ meq. · 100 g ⁻¹	Aktiivihappamuus Active acidity pH _{H₂O}	Johtoluku Electrical conductivity index
Alakärppä	8,1±1,0	11,9±0,9	4,2±0,1	3,57±0,71
Hietikko	6,8±1,3	12,9±1,6	4,8±0,2	6,47±1,38
Kankaanranta	7,8	11,8	4,7±0,2	3,78±0,49
Pekolampi	5,3±0,5	8,9±1,2	5,3±0,1	2,73±0,39
Pieksämäki	19,2±7,4	30,7±9,9	4,9±0,2	2,96±0,61
Suonenjoki	15,4±2,5	19,0±3,5	4,8±0,0	4,15±0,33
Tapionpelto	12,3±0,3	27,2±3,3	4,5±0,3	4,61±0,24
Vikom	10,4	22,6	5,1±0,3	3,84±0,11
\bar{X}	11,4±1,8	18,6±2,5	4,8±0,1	4,8±0,35
F-arvo				
F-ratio	1,28	1,73	2,49*	2,42*
Vapausasteet Degrees of freedom	7,21	7,21	7,25	7,25

metsäpuiden taimitarhassa, tavoitteena on säätää maan ominaisuudet ja prosessit mahdollisimman optimaalisiksi, esim. kalkituksella kompensoidaan turvelisäyksen maata happattavaa vaikutusta (Takala 1975, Rikala 1978, Rikala & Westman 1978).

325. Kationinvaihtokapasiteetti

Kationinvaihtokapasiteetti kuvattiin kahdessa happamuustasossa, efektiivisenä lähellä maan luontaista happamuutta pH 4,5:ssä sekä potentiaalisena emäksisissä olosuhteissa pH 8,0:ssä (taulukko 4, liite 1). Potentiaalinen kationinvaihtokapasiteetti oli aina suurempi kuin efektiivinen; nousu happamuuden vähenemisen myötä johtuu muuttuvien vaihtopaikkojen määrän ja vetyionikonsentraation välisestä riippuvuudesta. Viimemainitun pienentyessä yhä useampi orgaaninen ryhmä toimii heikkona hapon ja voi dissosioitua. Siten tämä mekanismi liittyy ensisijassa maan orgaanisen aineeseen (Helling ym. 1964). Toisaalta, hiesu- ja ennen kaikkea savelsajitteiden hiukkasten reunavaraukset voivat myös osallistua happamuudesta riippuvaan kationinvaihtoon (Scheffer & Schachtschabel 1976). Tähän viittaa näiden lajitteiden osuukien ja vaihtokapasiteettien väliset korrelaatiot (taulukko 2). Riippuvuusuhde ilmenee erityisen selvänä kun orgaanisen aineksen vaikutus korrelaatioihin eliminoidaan. Nämä lajitteet ovatkin selvästi vaihtokapasiteettiin korreloituneet kivennäisainefraktiot. Tulos on johdonmukainen siihenkin verrattuna että maan kivennäishiukkasten happamuudesta riippumaton kationinvaihto liittyy nimenomaan hienoihin lajitteisiin, erityisesti savekseen (esim. Kaila & Ryti 1968, Scheffer & Schachtschabel 1976). Taimitarhamaiden aktiivihappamuuden ja efektiivisen vaihtokapasiteetin välillä ei ole riippuvuutta. Selitys tähän löytyy käytetystä analyysimenetelmästä; vaihtokapasiteettimääritykset tehtiin puskuroitua uutoliuosta käyttäen.

Edellä esitetyn mukaan taimitarhamaiden kationinvaihtokapasiteettia pyrittiin selittämään hiesu- ja savelsajitteiden sekä maan orgaanisen aineksen osuukilla. Viimeksi mainittu maaperätunnus selitti efektiivisen kationinvaihtokapasiteetin vaihtelua parhaiten:

$$(16) Y = 4,1273 + 0,6643X_3$$

$$R^2 = 0,604$$

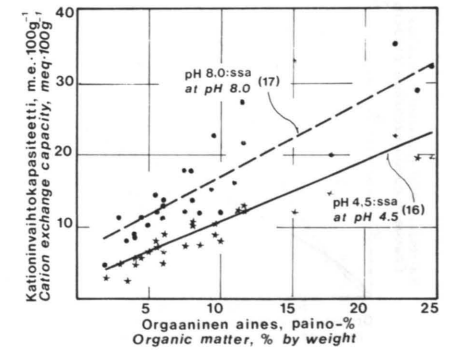
Potentiaalisen vaihtokapasiteetin vaihtelua selittävään malliin tulivat orgaanisen aineksen lisäksi mukaan hiesu ja saves, jossa on happamuudesta riippuvaisia reunavarauksia:

$$(17) Y = 2,0719 + 0,3553X_3 + 0,5050X_4 + 1,0643X_5$$

$$R^2 = 0,830$$

Kationinvaihtokapasiteetin ja maan orgaanisen aineksen välinen riippuvuus on havainnollistettu kuvassa 8, hiesu- ja savelsajitteiden vaikutus potentiaaliseen vaihtokapasiteettiin on kuvaajaa piirretessä vakioitu niiden keskimääräisille tasolle (taulukko 1).

Käyttäen maan orgaanisen aineksen määrää kovariaattina voitiin todeta, että taimitarhamaiden potentiaalinen kationinvaihtokapasiteetti asetuu merkitsevästi korkeammalle tasolle kuin niiden efektiivinen kationinvaihtokapasiteetti ($F = 85,27^{***}$, v.a. 3,52). Lisäksi ilmeni, että orgaaninen aine vaikuttaa voimakkaammin potentiaaliseen kuin efektiiviseen kationinvaihtokapasiteettiin; regressiokertoimet eroavat merkitsevästi toisistaan, t (v.a. 54) = $2,68^{**}$. Toisaalta potentiaalista kationinvaihtokapasiteettia kuvaava



Kuva 8. Efektiivinen (pH 4,5) ja potentiaalinen (pH 8,0) kationinvaihtokapasiteetti suhteessa maan orgaanisen aineksen määrään.

Figure 8. Effective (pH 4.5) and potential (pH 8.0) cation exchange capacity in relation to content of organic matter in soil.

havaintoaineisto on etenkin suurilla orgaanisen aineksen määrillä selvästi heterogeenisempi kuin efektiivistä vaihtokapasiteettia kuvaava aineisto. Orgaanisen aineksen laadun vaihtelu on mahdollisesti osasyynä hajontojen erilaisuuteen. Tarkasteltaessa kationinvaihtokapasiteetissa tapahtuvia muutoksia, kun puhtaaseen kivennäismaahan lisätään kasvavia määriä orgaanista ainesta, huomataan että trendi on yhdenmukainen edellä esitetyn kanssa (kuva 9, yhtälöt 18 ja 19):

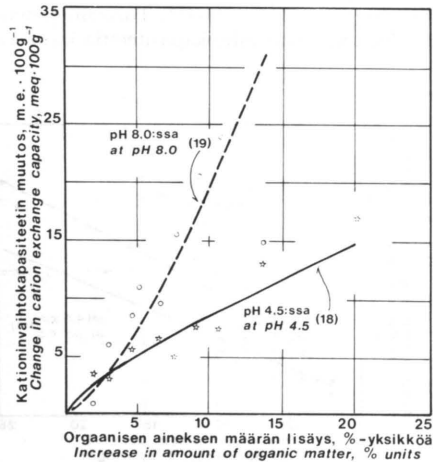
$$(18) \Delta Y_{13} = 1,4534 \Delta X_5^{0,7771}$$

$$R^2 = 0,885$$

$$(19) \Delta Y_{14} = 1,2176 \Delta X_5^{1,1214}$$

$$R^2 = 0,698$$

Hänninen (1977) on tässä tutkitussa näytesarjassa mitannut kationinvaihtokapasiteetin puskuroinmatonta uuttonestettä käyttäen (Kaila 1971) ja todennut, että yhden prosenttiyksikön suuruisen muutoksen maan orgaanisen



Kuva 9. Maahan lisätyn orgaanisen aineksen määrän vaikutus maan efektiiviseen (pH 4,5) ja potentiaaliseen (pH 8,0) kationinvaihtokapasiteettiin.

Figure 9. Influence of organic matter addition on effective (pH 4.5.) and potential (pH 8.0) cation exchange capacities in the soil (see also Figure 6 legend).

hiilen määrässä lisää maan vaihtokapasiteettia vajaan yhden milliciekvivalentin sataa grammaa maata kohti. Armsonin ja Sadreikan (1974) mukaan vastaava muutos olisi keskimääräisesti niinkin suuri kuin $3 \text{ m.e.} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Kuvan 9 ja yhtälöiden 18 ja 19 pohjalta näyttää siltä, että orgaanisen aineksen lisäyksen ja kationinvaihtokapasiteetin kasvun suhde riippuu ensiksi mainitun suuruudesta ja että se on pienempi efektiivisen kationinvaihtokapasiteetin kohdalla kuin potentiaalisen vaihtokapasiteetin kohdalla. Jos otaksutaan, että heikosti maatussa turpeessa on 52 % orgaanista hiiltä, saadaan ensiksi mainitussa tapauksessa 1,3–1,9 m.e. ja viimeksi mainitussa tapauksessa 2,8–5,9 m.e. suuruisia muutoksia (taulukko 5). Tulos on happamissa olosuhteissa määritetyn kationinvaihdon osalta jokseenkin yhtäpitävä Hännisen (1977) tulosten kanssa. Samalla tulokset viittaavat siihen että Armsonin ja Sadreikan (1974) ilmoittamat luvut edustavat potentiaalista vaihtokapasiteettia. Tätä vertailua tehdessä on kuitenkin pidettävä mielessä että orgaanisen aineksen laatu, lähinnä sen maatusuus ja turvelaji, voi vaikuttaa vaihtokapasiteettiin, mikä saattaa selittää osan eroavuudesta eri tutkimustulosten välillä. Tämän tutkimuksen puitteissa ei kuitenkaan ollut mahdollista tarkemmin määrittää kulloinkin maanparannusaineena käytettyä orgaanisen aineen laatua. Useissa tapauksissa oli kuitenkin käytetty heikosti maa-

Taulukko 5. Erisuuruisen orgaanisen aineksen lisäysten vaikutus kationinvaihtokapasiteettiin. Muutokset on ilmaistu keskimääräisinä vaihtelualueelle.

Table 5. Influence on the cation exchange capacities of different amounts of organic matter added. The values are given as average increments for respective range.

Orgaanisen aineksen lisäyksen vaihteluväli, % yksikkö Range of increment in amount of organic matter, % unit	Keskimääräinen vaihtokapasiteetin nousu Mean increment in exchange capacity m.e. · 100 g ⁻¹ - meq · 100 g ⁻¹	
	efektiivinen effective	potentiaalinen potential
0-5	1,88	2,81
5-10	1,92	2,81
10-15	1,27	5,88
15-20	1,13	-

tunutta rahkaturvetta (H 2-3, v. Post 1933); Pekolampi oli ainoa tutkimuksen kohteena olleista taimitarhoista, jossa turpeen ohella oli käytetty vihantalannoitusta maanparannuskeinona (Rikala 1978, Rikala & Westman 1978, Nylund henkilökohtaisesti). Vaikka siten voidaanankin olettaa, että orgaanisen aineksen laatu vaihtelee eri taimitarhojen välillä, tämä vaihtelu ei välttämättä vaikuta kovin voimakkaasti saatuihin tuloksiin. Westman (1981) on esimerkiksi todennut, että siitä huolimatta että luonnonolainten turvenäytteen tiheys (maatusuus) on merkitsevästi erilainen erällä tutkituilla suotyypeillä ja

myös syvyysuunnassa turveprofilissa, efektiivinen kationinvaihtokapasiteetti ei vaihtelee näin muodostettujen ryhmien välillä.

Muista maaperällisistä tekijöistä sekä tiheys että ainestiheys ovat korreloituneet kationinvaihtokapasiteettiin, viimeainittu korrelaatio onkin huomattavan vahva. Nämä riippuvuudet kuten nekin, jotka havaitaan eräiden vesitaloudellisten ominaisuuksien kanssa, selittyvät orgaanisen aineksen voimakkaalla vaikutuksella sekä kationinvaihtokapasiteettiin että mainittuihin muuttujiin (taulukko 2).

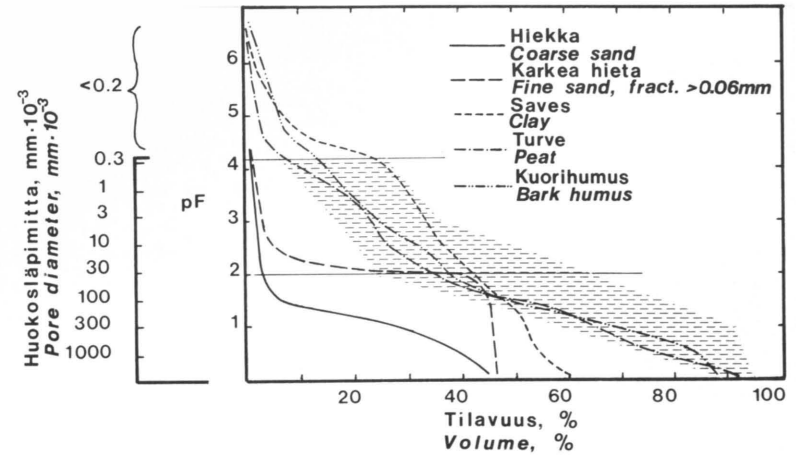
4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kolmannessa luvussa tarkasteltiin taimitarhamaiden vesitaloudellisia ominaisuuksia ja ravinteidenpidätyskykyä kuvaavia tunnuksia sekä näiden välisiä riippuvuuksia. Lähes poikkeuksetta maan orgaanisen aineksen määrä vaikutti voimakkaasti tarkasteltuihin tunnuksiin. Toisaalta maanparannus, jonka olennaisena osana on juuri orgaanisen aineen lisääminen milloin kompostin ja vihantalan- noituksen muodossa ja milloin heikosti maatuneena rahkaturpeena, on pitkään ollut taimitarhatekniikan tärkeimpiä toimenpiteitä (esim. Mikola 1957 a, b, Rikala 1978, Rikala & Westman 1978). Seuraavassa pyritään tässä saatujen tulosten perusteella tarkastelemaan maan orgaanisen aineksen määrän vaikutusta taimitarhamaiden viljelyominaisuuksiin, eli arvioimaan maanparannuksella saavutettavan hyödyn. Tarkastelu on esimerkki- luontoinen ja perustuu taimitarhamaiden keskimääräisiin ominaisuuksiin.

Tutkimuksessa mukana olleiden taimitarhamaiden tärkeimmät maaperälliset ominaisuudet ilmenevät kuvasta 3, jossa yksittäiset havaintopisteet on sijoitettu koordinaatistoon orgaanisen aineksen määrän sekä hiekan ja hiedan yhteismäärän perusteella (X ja Y), maat jaettiin kolmeen maatyypiryhmään. Taimitarhat sijoittuvat yleensä melko johdonmukaisesti kulloiseenkin maatyypiryhmään, mutta yhtä ja samaa taimitarhaa edustavat yksittäiset havainnot saattavat myös hajaantua eri maatyypiryhmiin. Perusmaan kivennäislajitekoostumuksen suhteen taimitarhat eroavat osittain selvästi toisistaan (taulukko 1), ja vaihtelu on sinänsä luonnollista, vaikka juuri kivennäislajitekoostumukseen onkin pyritty vaikuttamaan taimitarhaa sijoitettaessa. Edellisen lisäksi on myös havaittavissa taimitarhojen sisäistä vaihtelua joka ilmenee selvimmän maatyypiryhmässä 2 ja 3. Tulokset viittaavat siten siihen että taimitarhan perustamisvaiheessa ei ole kiinnitetty riittävästi huomiota perusmaan ominaisuuksiin. Taimitarhojen sisäisen vaihtelun vuoksi ei voida osoittaa niiden eroavan toisistaan maan orgaanisen aineksen määrän suhteen. Hyvin suurelta osalta vaihtelu taimitar-

hojen välillä ja ennen kaikkea taimitarhojen sisällä aiheutuu suoritetuista maanparannustoimenpiteistä ja kuvastaa siten kulloisessakin taimitarhassa käytettyä viljelyteknikkaa.

Taimitarhamaiden lajitekoostumuksessa ja orgaanisen aineksen määrässä esiintyvä vaihtelu heijastuu tietenkin kasvualustan muihin ominaisuuksiin (ks. luku 32.). Vaikutus näkyy selvimmän maan tiheydessä, joka on merkittävästi suurempi maatyypiryhmä 1:een kuuluvissa taimitarhoissa kuin kahteen muuhun ryhmään kuuluvissa (taulukko 1). Ero selittyy maan orgaanisen aineksen määrän vaihtelulla (ks. luku 322., kuva 4). Tämä vaihtelu heijastuu myös maan vesitaloudellisissa ominaisuuksissa (taulukko 3), ja kokonaishuokostilavuus on useimmissa tapauksissa merkittävästi suurempi maatyypiryhmien 2 ja 3 taimitarhoissa kuin ryhmä 1:n taimitarhoissa. Kokonaishuokostilavuuden kasvun myötä kasvaa myös kenttäkapasiteettia vastaava ilmatila, erot taimitarhojen välillä ovat nytkin useissa tapauksissa merkittävät. Orgaanisen aineen (turpeen) lisääminen näyttää siten muuttavan luonnostaan ilmavat maat entistä ilmavammiksi nostamalla kokonaishuokostilavuutta ja ensisijaisesti suurten huokosten osuutta maan huokoskokojakamassa (Kuntze 1965, Andersson & Wiklert 1972, Päivänen 1973, Scheffer & Schachtschabel 1976, taulukko 3, kuva 10). Muiden vesitaloudellisten ominaisuuksien kohdalla vaikutukset eivät ole yhtä johdonmukaisia. Lakastumisrajan vesipitoisuus on mahdollisesti jonkinverran suurempi maatyypiryhmien 2 ja 3 taimitarhoissa kuin ryhmän 1 taimitarhoissa (taulukko 3), mikä vuorostaan heijastuu maiden hyötykapasiteettiin. Kuvien 5 ja 6 perusteella voidaan todeta, että maan orgaanisen aineksen määrän vaihtelussa välillä 2 ja 25 prosenttia hyötykapasiteetti on jokseenkin vakio, mahdollisesti lakastumisrajaan vastaavan vesipitoisuuden samanaikainen nousu jopa pienentää vesikapasiteettia lievästi. Orgaanisen aineen (turpeen) lisääminen ei siten näytä parantavan kasvualustan vedenpidätyskykyä, vaan muokauskerroksen (20 cm) hyötykapasiteet-



Kuva 10. Eri kivennäislajiteille ja orgaanisille maaperille ominaisia pF-käyriä Anderssonin ja Wiklertin (1972) mukaan. Varjostettu alue kuvaa 89 heikosti tai kohtalaisesti maatuneen (v. Post H1-H5) rahkaturpeen vedenpidätyskykyjen vaihteluvoimakkuutta Päiväsen (1973) mukaan.

Figure 10. Typical pF-curves for some mineral particle size classes and organic substrates according to Andersson and Wiklert (1972). The shaded area illustrates the water retention properties of 89 low and medium humified (v. Post scale H1-H5) Sphagnum peats according to Päivänen (1973).

ti pysyy lähes vakiona tarkastellulla orgaanisen aineksen määrän vaihteluvälillä ollen n. 24 tilavuusprosenttia, joka vastaa vajaan 50 mm:n sadetta tai sadetusta.

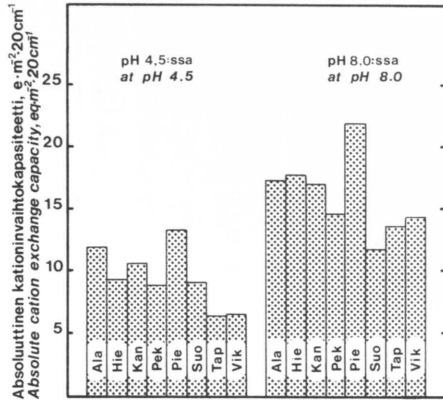
Maatyypiryhmä 1:n keskimääräiset kenttäkapasiteettia vastaavat ilmatilat ovat riittävät taimien kasvua ajatellen (ks. esim. Scheffer & Schachtschabel 1976). Tätä suurempia ilmatiloja ei sinänsä voida pitää haitallisina, mutta on toisaalta erityisesti otettava huomioon ilmavan orgaanisen aineksen lämpö- taloudelliset ominaisuudet. Runsaasti orgaanista ainesta sisältävän kasvualustan maanpinnan läheinen ilmasto saattaa olla äärevä, koska orgaanisen aineksen lämmönjohtokyky ja lämpökapasiteetti ovat tunnetusti alhaiset. Tämänlaatuinen kasvualusta sulaa yleensä hitaasti keväällä vaikuttaen samalla avomaataimien kevätnostoon.

Tutkittujen kemiallisten ominaisuuksien suhteen taimitarhojen välillä ei ole johdonmukaisia tilastollisesti osoitettavia eroja, ainostaan johtoluvun ja happamuuden suhteen taimitarhat eroavat yksittäisissä tapauksissa merkittävästi toisistaan. Mielenkiintoista oli että korkein keskimääräinen pH on mitattu Pekolammen taimitarhan maasta,

jossa orgaanisen aineksen määrä samanaikaisesti on alhainen (taulukko 1). Selitys saattaa tietenkin olla että kalkkia on lisätty eri suhteissa turpeen määrään kuin muissa taimitarhoissa. Toisaalta Pekolammen taimitarhassa sovelletaan turvelevityksen ohella vihantalannoitusta maanparannuskeinona (Nylund henkilökohtaisesti). Näin muodotuu maahan aivan erilaista orgaanista ainesta kuin turvelisäyksessä, ja vihermassaa tuottavien kasvien viljely jo edellyttää, että maa on enintään vain lievästi hapan.

Kasvualustan kemiallisia ominaisuuksia tarkasteltaessa todettiin että maan orgaanisen aineksen määrä vaikuttaa voimakkaasti sen kationinvaihtokapasiteettiin (luku 325.). Taulukon 4 pohjalta ilmeneekin, että keskimääräinen vaihtokapasiteetti maatyypiryhmien 2 ja 3 taimitarhoissa on noin kaksinkertainen ryhmän 1 taimitarhoihin verrattuna; ero on mahdollisesti jonkinverran suurempi potentiaalisen vaihtokapasiteetin osalta.

Vaikka orgaanisen aineksen vaikutus kationinvaihtokapasiteettiin on kiistanalainen, maanparannuksessa lisätyn turpeen vaikutus kasvualustan ravinnepidätyskykyyn huomattavasti monitahoisempi. Jos taimitarhamai-



Kuva 11. Taimitarhamaiden muokkauskerroksen keskimääräinen absoluuttinen kationinvaihtokapasiteetti.

Figure 11. Average absolute cation exchange capacity of the nursery soil tillage layer.

den tilavuus- ja massasuhteiden (kuva 2) avulla lasketaan muokkauskerroksen (20 cm) absoluuttinen kationinpidätyskyky ($e \cdot m^{-2}$), muuttuu taimitarhojen keskinäinen järjestys (kuva 11). Ryhmään 1 kuuluvien taimitarhojen maiden absoluuttinen efektiivinen vaihtokapasiteetti on $10,2 (e \cdot m^{-2})$ ja ryhmien 2 ja 3 maiden vastaavat kapasiteetit $11,2$ ja $6,4 (e \cdot m^{-2})$. Potentiaalinen kationinvaihtokapasiteetti on samassa järjestyksessä $16,6$, $16,8$ ja $13,9 (e \cdot m^{-2})$. Vaikka orgaanisen aineksen

lisäys maahan kiistattomasti nostaa maa-aineksen kationinvaihtokapasiteettia (ilmaistuna ekvivalenttina kohti painoyksikköä), sen samanaikainen vaikutus kasvualustan tilavuussuhteisiin (kuva 2) on tässä niin voimakas että ravinteidenpidätyskyky absoluuttisesti ilmaistuna ei muutu haluttuun suuntaan. Tulos saattaa tuntua hälyttävältä, mutta $10 e \cdot m^{-2}$ suuruinen vaihtokapasiteetti 20 cm:ä syvässä muokkauskerroksessa vastaa esimerkiksi $140 g$:aa tyyppä ammoniumsulfaattina ($660 g \cdot m^{-2} (NH_4)_2SO_4$). Tämä on melkoinen lannoitemäärä siihen verrattuna että 2+1 mänyntaimet saavat lannoituksena koulinnan jälkeisenä kesänä yhteensä $18,4 g$ tyyppä, $15,1 g$ kaliumia, $8,4 g$ kalsiumia, $2,2 g$ magnesiumia, $0,9 g$ mangaania ja $0,3 g$ kuparia neliometriä kohden (Rikala 1978), mikä vastaa $1,7 e \cdot m^{-2}$ olettaen että puolet mainitusta tyyppä määrästä on ammoniummuodossa. Näyttää siis siltä että taimitarhamaiden efektiivinen kationinvaihtokapasiteetti on riittävä pidättämään lannoituksissa lisätyt ravinteet vaihtuvaan muotoon.

Lopuksi voidaan todeta, että turvelisäyksen vaikutusta taimitarhamaiden viljelyominaisuuksiin on mahdollisesti yliarvioitu. Orgaanisen aineksen edullinen vaikutus useaan viljavuustekijään on kyllä kiistaton, mutta edellä esitetyt tulokset viittavat siihen, että jo kohtalainen määrä orgaanista ainesta karkearakeisessa maassa antaa parhaat viljelyominaisuudet: ilmava, nopeasti kuivuva ja lämmin maa, jolla on suuri hyötykapasiteetti ja riittävä ravinteidenpidätyskyky.

5. YHTEENVETO

Käsillä olevan tutkimuksen tavoitteena oli metsäpuiden taimitarhojen avomaan kasvualustojen eräiden fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien sekä niiden vuorovaikutusten kuvaaminen erityisesti maanparannuksen vaikutusta niihin silmälläpitäen. Tutkimuksessa mukana olleet taimitarhat vertailtiin samalla mitattujen ominaisuuksien suhteen. Tarkastelun kohteeksi valittiin kahdeksan eri puolilla Suomea sijaitsevaa suunnilleen samantasoista keskustaimitarhaa (kuva 1). Niistä kerättiin vuosina 1974–77 kaikkiaan 33 viljelylohkolta systemaattisella ryväotannalla kokoomanäytteet. Näytteistä määritettiin kivennäismaan lajitekoostumus, orgaanisen aineksen määrä, tiheys, ainestiheys, kokonaishuokostilavuus, pF 2,0:aa ja pF 4,2:ta vastaavat vesipitoisuudet, hyötykapasiteetti, kenttäkapasiteettiä vastaava ilmatila, kationinvaihtokapasiteetti pH 4,5:ssä ja 8,0:ssa sekä happamuus ja sähkönjohtokyky. Osasta näytteitä poistettiin orgaaninen aines ja edellä mainitut tunnusluvut lukuunottamatta lajitekoostumusta, happamuutta ja sähkönjohtokykyä, määritettiin uudestaan. Näytekohtaiset analyysitulokset ilmenevät liitteestä 1.

Tutkittujen taimitarhamaiden kivennäismaan lajitekoostumus, orgaanisen aineksen määrä, tiheys ja ainestiheys on esitetty taimitarhoittain ja keskimäärin koko aineistossa taulukossa 1. Maat ovat hiekka- tai hietamaita; hiesun ja saveksen yhteisosuus on ainoastaan kahdessa tapauksessa yli 15 paino-%. Orgaanista ainesta on keskimäärin maassa $8,7 \pm 1,0$, suurin mitattu arvo on 57 %, joka edustaa kivennäismaan päälle muodostettua turvepenkkiä.

Havaintopisteet sijoitettiin koordinaatistoon maan orgaanisen aineksen määrän sekä hiekka- ja hietalajitteiden yhteismäärän funktiona (kuva 3). Raja-arvojen, 85 % hiekkaa ja hietaa sekä 10 % orgaanista ainesta, avulla muodostettiin kolme maatyypiryhmää:

1. Karkearakeiset (Hk + Ht ≥ 85 %) ja vähän (≤ 10 %) orgaanista ainesta sisältävät maat
2. Karkearakeiset (Hk + Ht ≥ 85 %) ja runsaasti (> 10 %) orgaanista ainesta sisältävät maat

3. Kohtalaisesti hienoja lajitteita (Hs + S 15–30 %) ja vaihtelevia määriä orgaanista ainesta sisältävät maat

Yhtä poikkeusta lukuunottamatta tutkitut näytteet sijoittuivat mainittuihin ryhmiin. Joidenkin taimitarhojen kohdalla maanparannus oli kuitenkin johtanut niin suureen maan heterogeenisuuteen että taimitarhan sijoittaminen määrättyyn ryhmään oli mahdotonta.

Yksittäisten maalajitteiden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välistä korrelaatioita ovat heikot (taulukko 2). Yleensä hiekan ja hiedan määrien ja joidenkin tunnusten välillä vallitsee negatiivinen korrelaatio, hietalajite on kuitenkin positiivisesti korreloinut pF 2,0:aa vastaavan vesipitoisuuden ja maan hyötykapasiteetin kanssa. Hiesun määrällä on positiivinen vaikutus useaan maan viljavuustunnuksen. Saveslajite on heikosti korreloinut pF 4,2 vesipitoisuuden kanssa. Orgaanisen aineksen määrä näyttää sen sijaan vaikuttavan voimakkaasti lähes kaikkiin maatumuksiin. On kuitenkin merkillepantavaa, että tässä aineistossa sillä ei ole vaikutusta maan hyötykapasiteettiin. Tiheyden ja ainestiheyden vaihtelu selittyvät toisaalta hyvin suurelta osalta maan orgaanisen aineksen määrän vaihtelulla (yhtälöt 4 ja 6, kuva 4).

Maiden keskimääräiset vesitaloudelliset ominaisuudet on esitetty taimitarhoittain ja koko aineiston osalta taulukossa 3. Verrattuna karkearakeisiin kivennäismaihin tutkitut maat ovat varsin ilmavia, kokonaishuokostilavuus vaihtelee 39:stä 76:een tilavuusprosenttiin. Maaperällisistä tunnusista orgaanisen aineksen määrä vaikuttaa voimakkaimmin kokonaishuokostilavuuteen, riippuvuus on epälineaarinen (kuva 5, yhtälö 7) ja suhteellisesti ottaen suurin pienillä orgaanisen aineksen lisäyksillä (kuva 6, yhtälö 8).

Maan vesitaloudellisista ominaisuuksista kenttäkapasiteettia (pF 2,0) vastaava vesipitoisuus ei näyttänyt riippuvan orgaanisen aineksen määrästä; siihen vaikuttaa voimakkaimmin kivennäismaassa oleva hiedan ja hiesun yhteismäärä (yhtälöt 9 ja 10, kuva 7). Tutkittujen hiekka- ja hietavaltaisten maiden

lakastumisrajaa vastaava vesipitoisuus sen sijaan selittyy suurelta osalta orgaanisen aineksen määrän vaihtelulla (yhtälöt 13 ja 14, kuvat 5 ja 6). Sen lisäksi maan savespitoisuudella on vaikutusta tähän muuttuun, jonka vesipitoisuuden vaihtelu kuitenkin on kaikkiaan varsin vaatimaton.

Tutkimuksen mielenkiintoisimpana tuloksena voidaan pitää maaperällisten tunnusten ja hyötykapasiteetin sekä kenttäkapasiteettia vastaavan ilmatilan välisiä riippuvuuksia. Kuvien 5 ja 6 sekä yhtälöiden 11, 12, 15 pohjalta näyttää siltä, että hyötykapasiteetti säilyy vakiona ja mahdollisesti pieneneekin maan orgaanisen aineksen määrän vaihdellussa välillä 2 ja 25 %. Ilmatila sen sijaan nelinkertaistuu samanaikaisesti. Absoluuttisesti hyötykapasiteetin vesimäärä vastaa n. 50 mm sateen vaikutusta 20 cm syvään muokkauskerrokseen. Siten suurten turvemäärien lisääminen maahan nostaa ensisijassa kasvualustan ilmavuutta.

Taimitarhamaiden keskimääräiset kemial-

lis-fysikaaliset ominaisuudet on esitetty taulukossa 4. Maan ravinnetalouden kannalta tärkein tunnus, kationinvaihtokapasiteetti näyttää riippuvan kiinteästi kasvualustan orgaanisen aineksen määrästä (kuva 8 ja 9, yhtälöt 16, 17, 18 ja 19). Orgaanisen aineksen vaihdellussa välillä 2 ja 25 % vaihtokapasiteetti nousee suoraviivaisesti. Potentiaalinen kationinvaihtokapasiteetti on merkitsevästi suurempi kuin efektiivinen ja näyttää riippuvan voimakkaammin orgaanisen aineksen määrän vaihtelusta kuin viimeksi mainittu. Tarkasteltaessa vaihtokapasiteettia absoluuttisena ($e \cdot m^{-2}$) muokkauskerroksessa (kuva 11) huomataan kuitenkin, että se on keskimääräisesti ottaen jokseenkin riippumaton maan orgaanisen aineksen määrästä maatyypiryhmiin 1 ja 2 kuuluvissa taimitarhoissa (keskimäärin n. $10 e \cdot m^{-2}$). Se on selvästi alhaisempi (runsas $6 e \cdot m^{-2}$) niiden taimitarhojen maissa, jotka sisältävät suhteellisen runsaasti hienoja maalajitteita ja vaihtelevia määriä orgaanista ainesta.

KIRJALLISUUS

- ANDERSSON, S. & WIKLERT, P. 1972. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XXIII. Om de vattenhållande egenskaperna hos svenska jordarter. Grundförbättring 25 (2-3): 53-143.
- ARMSON, K. A. & SADREIKA, V. 1974. Forest tree nursery soil management and related practices. Ministry of Natural Resources. Ontario.
- BENZIAN, B. 1965. Experiments on nutrition problems in forestry nurseries. Forestry Commission Bull. No 37. Vol. 1.
- BREMNER, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: Methods of soil analysis. Ed. C. A. Black. Agronomy. No 9. Vol. 2: 1179-1237. Amer. Soc. Agron. Mad. Wisc.
- CHAPMAN, H. D. 1965. Cation exchange capacity. In: Methods of soil analysis. Ed. C. A. Black. Agronomy. No 9. Vol. 2: 891-901. Amer. Soc. Agron. Mad. Wisc.
- ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. Selostus: Maan raakoostumuksen määrittäminen. Acta Agr. Fenn. 122.
- HEINONEN, R. 1957 a. Suomen maalajien ominaispainosta. Summary: On the specific gravity of Finnish soils. J.Sci. Agr. Soc. Finl. 29: 38-40.
- 1957 b. Pohjanmaan huokoisuussuhteista Suomen maalajeissa. Summary: Porosity conditions in Finnish subsoils. J.Sci. Agr. Soc. Finl. 29: 27-37.
- 1960 a. Das Volumengewicht als kennzeichen der "normalen" Bodenstruktur. Selostus: Tilavuuspaino maan "normaalni" rakenteen tunnuksena. J.Sci. Agr. Soc. Finl. 32: 81-87.
- 1960 b. Density, amount, and carbon content of organic matter in soils - some methodical reflections. Seloste: Maan orgaanisen aineksen ominaispaino, määrä ja hiilipitoisuus - tutkimustulosten ja metodien tarkastelu. J.Sci. Agr. Soc. Finl. 32: 125-127.
- HELLING, S. H., CHESTERS, G. & COREY, R. B. 1964. Contribution of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturating solution. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 517-520.
- HILLEL, D. 1971. Soil and Water. Physical principles and processes. Academic press, New York and London.
- HOLMEN, H. 1964. Forest ecological studies on drained peatland in the province of Uppland, Sweden. Parts I-III. Studia For. Suecica 16.
- HYLK/HYLPS 1977. Helsingin yliopiston laskentakeskuksen tietokoneohjelmisto.
- HÄNNINEN, P. 1977. Taimitarhamaan ravinteisuus ja taimien ominaisuudet erällä maamme taimitarhoilla. Metsänhoitotieteen laudatur-tyo, Helsingin yliopisto.
- JANSSON, S. L. 1978. Enkla behovsbestämningar bör eftersträvas. Kungl. Skogs- o. Lantbr. Akad. Tidskr. Suppl. 12: 71-73.
- KAILA, A. 1971. Effective cation-exchange capacity in Finnish mineral soils. Selostus: Kivennäismaittemme efektiivinen kationinvaihtokapasiteetti. J. Sci. Agr. Soc. Finl. 43: 178-186.
- & RYTI, R. 1968. Calcium, magnesium and potassium in clay, silt and fine sand fractions of some Finnish soils. Seloste: Saves-, hiesu- ja hieftafraktioiden kalsium, magnesium ja kalium pitoisuudesta. J. Sci. Agr. Soc. Finl. 40: 1-13.
- KORHONEN, M. 1978: Regressio-, varianssi- ja kovarianssianalyysi sekä niiden käyttö HYLPS-ohjelmistossa, versio 2.01. Helsingin yliopiston laskentakeskuksen opetusmoniste 1/78.
- KUNTZE, H. 1965. Physikalische Untersuchungsmethoden für Moor und Anmoorboden. Landw. Forschung 18: 178-191.
- Metsätalustollinen vuosikirja 1980. Yearbook of forest statistics 1980. Folia For. 460. Official statistics of Finland XVII A. 12.
- MIKOLA, P. 1957 a. Tutkimuksia taimitarhamaasta ja sen vaikutuksesta taimien kehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 49.2.
- 1957 b. Taimitarhojen nykyiset työmenetelmät. Commun. Inst. For. Fenn. 48.4.
- MÄKINEN, Y. 1974. Tilastotiedettä biologeille. Tilastotieteen ja tietojenkäsittelyn alkeet. 3. painos. SYNAPSI ry:n kurssimoniste. Turku.
- POST, L. von. 1922. Sveriges geologiska undersöknings torvinventering och några av dess hitills vunna resultat. Sveriges Mosskulturförenings Tidskr. 1.
- PUUSTJÄRVI, V. 1973. Kasvuturve ja sen käyttö. Liikkeen Oy, Helsinki.
- PÄIVÄNEN, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. Seloste: Turpeen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky. Acta For. Fenn. 129.
- RIKALA, R. 1978. Maanparannus, lannoitus ja kastelu keskustaimitarhoilla. Metsänviljelykoeseaman tiedonantoja 24. Metsäntutkimuslaitos.
- & WESTMAN, C. J. 1978. Markförbättring, gödsling och bevattning i Finländska skogssträdsplantaskolor. Årsskr. f. Nordiske Skogplanteskoler 1978.
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. 1976. Lehrbuch der Bodenkunde. 9 Aufl. Ferdinand Enke Verl. Stuttgart.
- SEGBERG, H. 1956. Zur kenntnis der spezifischen Gewichte von Niedermoortorfen. Z. f. Pflanzenernährung, Düng. u. Bodenk. 71: 133-141.
- TAKALA, P. 1975. Metsäpuiden siemen- ja taimituotanto. Tapion taskukirja, 17 uud. p.
- WESTMAN, C. J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. Yhteenveto: Pintaturpeen viljavuustunukset suhteessa kasvupaikkatyypin ja puuston kasvupotentiaaliin. Acta For. Fenn. 172.
- & HÄNNINEN, P. 1977. Kemiallinen maa-analyysi paljasjuuristen taimien tuotannossa - enakkotiedonanto. Metsänviljelyn koeseaman tiedonantoja 22. Metsäntutkimuslaitos.

SUMMARY

PHYSICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF FOREST TREE NURSERY SOILS AND THEIR RELATION TO THE AMOUNT OF ORGANIC MATTER

Today, forest regeneration in Finland is largely based upon the use of nursery produced planting stock. In 1981 forest tree nurseries delivered more than 225 millions of seedlings. Some 70–75 per cent of the stock consisted of bare rooted transplants grown on open land. This particular nursery practice, together with the climatic conditions prevailing in Finland, put certain demands on the properties of the nursery soils. For example, frost heaving of the soil resulting in seedling root damage must not occur, and thawing should proceed rapidly in the spring time when the planting out of this enormous amount of stock has to be done in a short period of time. Further, the nursery soil should be able to drain freely even after heavy rainfall and the soil structure must withstand the use of heavy working machines. These demands are usually fulfilled by locating the forest tree nursery on sites with glacio fluvial sorted sandy soils. These soils are from an ecological point of view, however, unfavourable for plant production because of their inherent low organic matter content resulting in low water retention and cation exchange capacities. These anomalies are corrected for by increasing the amount of organic matter in the tillage layer. In practice 500–700 m³ ha⁻¹ low humified *Sphagnum* peat is mixed into the mineral soil at 3–10 years intervals.

The aims of the present study were to determine physical and physico-chemical properties of some Finnish forest tree nursery soils, to examine the relationship between these properties and the amount of organic matter in soil and, finally, to discuss the influence of organic matter on the cultivatability of the soil. For this purpose eight forest tree nurseries were chosen (Figure 1) and during the period 1974–77 soil samples were taken from 33 fields supporting Scots pine or Norway spruce crops and receiving different cultivation treatments. From each field 60 subsamples from the tillage layer (0–20 cm) were systematically taken and combined for analysis. From the dried (105°C) and homogenized (milled) soil samples the following properties were determined: particle size distribution (Elonen 1970), amount of organic matter by ignition at 550°C, bulk density, density of solids, water content at field capacity (pF 2.0) and wilting point (pF 4.2), as well as effective (pH 4.5) and potential (pH 8.0) cation exchange capacities (Chapman

1965), active acidity and electrical conductivity. On the basis of the measured properties, total pore space (Formula 1), available water content (Formula 2) and air space at field capacity (Formula 3) were estimated. The data is given as means for each field in Appendix 1.

In addition ten of the samples was randomly taken for more detailed examinations. Each sample representing one field was divided into two equal lots, one of which was analysed as described above. For the other sample lot, the soil organic matter was removed by a hydrogen-peroxide-hydrochloric acid treatment (Elonen 1970) and then treated as above. It was thus possible to isolate the influence of soil organic matter upon the physical and physico-chemical properties studied.

The statistical handling of the material consisted of calculating the mean value data, followed by one-way analysis of variance or analysis of co-variance and t-tests. The relationships between the physical and physico-chemical properties and with the soil organic matter were described using correlation and partial correlation analysis. Multivariate regression analysis was used to form more complex mathematical models of these relationships. A list of the variables used in the calculations is given in Appendix 2.

In section 31, the primary soil factors: particle size distribution and the amount of organic matter, and the associated properties, bulk density and the density of solids, are described. The average data for each nursery is given in Table 1. The soils are generally sandy in texture; only in two nurseries the combined percentage of silt and clay (varying between 15 and 30 per cent) indicate a morainic nature of parent material. The amount of organic matter varies widely between the single fields (Appendix 1); this undoubtedly being due to differences in amelioration policy from one nursery to another. However, the highest individual amount, 57 per cent, is considered an extreme case and is omitted from further statistical analyses.

An overall view of the nursery soils is obtained from the scattergram in Figure 3, in which the amount of soil organic matter and the combined percentage of coarse and fine sands are used as X and Y axes, respectively. According to this diagram the soils have been subjectively classified into the following groups:

1. Sandy soil (coarse + fine sand ≥ 85 %) with little organic matter (≤ 10 %)
2. Sady soils (coarse + fine sand ≥ 85 %) rich in organic matter (> 10 %)
3. Silty soils (silt + clay ≈ 15 –30 %) with varying content of organic matter.

In section 32, the influence of the primary soil factors (i.e. particle size distribution and organic matter content) upon the physical and physico-chemical soil properties (bulk density, density of solids, hydrological properties and cation exchange capacity), which are related to the fertility of the nursery soils, are discussed. The amount of soil organic matter is strongly correlated with most of the soil properties. For example the variation in bulk density and density of solids is to a very high degree explained by the variation in soil organic matter content (see Figure 4). Surprisingly, however, soil organic matter seems to have little or no influence on the available water content. In the case of the particle size class distribution the correlations are most often weak, thus indicating that the parent material is only of minor importance for the fertility of the nursery soils. This result is undoubtedly due to the fact that forest nurseries are located on soils of similar texture (i.e. there is little textural variation). However, the coarse sand fraction is negatively correlated with the field capacity and available water content, and positively correlated with the air space at field capacity. The fine sand and silt fractions, as expected, were found to positively affect the soil water retention, and negatively the air space at field capacity (Table 2). The finer textural classes are also positively related to the cation exchange capacities. Although, in this material the silt fraction seem to be of more importance than the clay, which is only related to the soil water content at pF 4.2 and potential cation exchange capacity.

One important explanation model for the minor influence of the particle size distribution on the single soil properties was given above. Nevertheless, in most cases the influence of soil texture upon the water and nutrient retention properties is overwhelmed by the dependence of the retention properties upon organic matter content. Therefore partial correlations, by which the effect of organic matter can be eliminated, were calculated (lower half of Table 2). When the data is manipulated in this way it is seen that bulk density, density of solids and total pore space is dependent upon soil texture. The importance of the finer soil fractions upon the potential cation exchange capacity is also distinguished more clearly. However, by eliminating the influence of the soil texture classes, using partial correlations, the coefficients between organic matter content and the water and nutrient retention properties were, in most cases, increased. This extensive data matrix is not presented.

The hydrological properties of the nursery soils are discussed on the basis of the influence of organic matter content upon total pore space, soil water contents at potentials pF 2.0 and 4.2, the available water content and air space at field capacity. Mean values are given by nursery in Table 3. It is assumed that the total pore space equals the soil water volume at pF 0.

Compared to virgin sandy soils, the nursery soils are highly porous, evidently because of the addition of low humified *Sphagnum* peat (compare mean pore size distributions given in Figure 10). From Figure 5 can be seen that the amount of organic matter has a strong influence on the total pore space. When forming a multivariate model explaining the variation in total pore space a minor additional increase in explanation degree was obtained by incorporating the sand fraction as an independent variable (Formula 7). However, according to Figure 6, the effect of organic matter on the total pore space is at its greatest when the added amount is low, some 5–8 per cent on weight basis. In comparison to the model given in Figure 5, the above statement may seem contradictory, but unfortunately the textural composition of the ten samples randomly chosen for a detailed examination of the effect of soil organic matter content upon the physical and physico-chemical properties, differs systematically from the entire material. Thus the samples associated with the small additions of organic matter clearly contain more coarse sand than the nursery soils on average and the samples associated with high organic matter additions are rich in finer fractions (compare Table 1 and Appendix 1). As a result of this sampling bias, interpretations made on the basis of Figure 6 and later from Figure 9 must be made with caution.

Soil water content at field capacity is negatively correlated to the coarse sand fraction and positively to the fine sand and silt fractions, but not correlated with the amount of organic matter (Table 2). The correlations with the texture classes are logically explained by the packing of soil particles of different size classes and the resulting pore size distribution. In theory, particles of the size 0.02–0.06 mm (part of the fine sand fraction) are associated with the pores retaining water at pF 1.8–2.0. Accordingly, in the multivariate model describing variations in soil water content at field capacity (Formula 9 and Figure 7), the fine sand silt fractions are the most important independent variables. That the amount of soil water held at pF 2.0 is not correlated to the content of organic matter, is surprising.

However, in the data from the ten samples analysed before and after the elimination of soil organic matter there is a close correlation between the increment in organic matter and the increment in water volume at field capacity (see Figure 6). The reason for this is the sampling bias as discussed above. According to the

results extremely poor water retention properties of coarse sand soils are improved by increasing the content of soil organic matter, but the influence of organic matter is more disputable when the soil is rich in finer fractions.

The nonexistent correlation between the field capacity and the content of organic matter in the entire material (Figure 5) requires further explanation. On the basis of Figure 10 it seems probable that organic substrates of importance in forest tree nursery soil amelioration primarily are different from the mineral soils with respect to their capacity to hold drainable water. Also the content of micro-pores in *Sphagnum* peats seem to influence the content of nonavailable water, but in the pF range 2.0–4.2 there is a surprisingly small difference between the organic soils and mineral soils with at least moderate content of fine sand and finer fractions. It thus seems that the addition of low humified *Sphagnum* peat, initially, is associated with and increase in the amount of larger pores (i.e. $\varnothing \geq 50 \mu\text{m}$), and that the change in the pore size fraction of importance for the field capacity is limited. Further evidence for this interpretation is to be seen in the relationship between air space at field capacity and the total pore space of the soil (see Figure 5 and Formula 11). When the organic matter content increases from 2 to 25 per cent, the total pore space increases by over 50 per cent and air space at field capacity rises from a little more than 10 to almost 40 per cent by volume, but the corresponding water content hardly changes.

The air space at field capacity varies from 6 to 53 per cent by volume (Appendix 1), being on average 26 ± 2.4 per cent (Table 3). Taking into consideration the way in which this particular variable was calculated (Formula 2) it is evident that it is closely related to soil density data. Using bulk density as an independent variable more than 60 per cent of the variation in air space is explained. A multivariate model including also the percentages of fine sand, silt and organic matter as X-variables gave a R^2 value of about 90 per cent (Formula 12).

The water content corresponding to the wilting point (pF 4.2) is generally low in the sandy nursery soils (Table 3, Appendix 1). The percentages of organic matter and the clay fraction are significantly correlated with the water content in question (see Table 2). Further, the relationship between the total pore space and the content of bound water must be considered a result of multicollinearity with soil organic matter. From Figure 5 it can be concluded that the increase in water volume when the content of organic matter increases from 2 to 25 per cent is minor, only 5–8 per cent of volume, despite the close correlation between the two variables. The water bound with suctions greater than potential 4.2, in any case, is not plant available. Rather it is the amount of water held with potentials between 2.0 and 4.2 (i.e. the available water content of the soil) that is a variable of plant

ecological interest. According to this material the soil organic matter content seems to have no positive influence on this important soil characteristic. From Figure 5 it is observed that the volume of available water actually decreases somewhat when the amount of soil organic matter rises from 2 to 25 per cent. This trend is evidently a result of the variations shown by the soil water contents at field capacity and the wilting point. As was seen, the former is not dependent upon variations in soil organic content while the latter shows a clear positive correlation. This somewhat unexpected finding gained support by partial correlation analysis. In the multivariate model explaining the variation in the available water content, the particle size distribution of the parent material seems to be of greatest importance (Formula 15).

The average physico-chemical properties are given for each nursery in Table 4. Of the cation exchange capacities measured, the potential capacity (pH 8.0) is, as could be expected, significantly higher than the effective capacity (pH 4.5), and also seems to be more dependent upon the amount of organic matter in the soil (Figures 8 and 9, Table 5). The latter finding is evidently associated with the acid dependent nature of the exchange sites in organic matter. However, the finer soil particle fractions (i.e. silt and clay) also seem to be involved in some kind of pH dependent cation exchange (Table 2). Models describing the relationship between the content of soil organic matter, soil texture and cation exchange capacities are given by Formulas 16–19. Generally taken, a one per cent increase in the amount of organic carbon increases the effective cation exchange capacity by 1.3–1.9 meq. In the case of potential cation exchange capacity the corresponding increase is 2.8–5.9 meq. (Table 5).

An evaluation of the effect on nursery soil fertility/cultivatability achieved by the spreading of low humified *Sphagnum* peat is made in section 4. From Figure 3 it is seen that amelioration practice in most nurseries has been successful, resulting in a consistent substrate with little variation in the organic matter content within the nursery. However, in some cases the organic matter content varies widely. Also variations in the parent material (i.e. the soil texture) indicate that sufficient importance has not always been paid to the soil textural properties when establishing the nursery. Attention should therefore be given to the soil parent material in the future when establishing new nurseries.

It is evident that the subjectively formed soil groups (Figure 3) show clear differences in soil properties. Partly these differences are a result of the heterogeneity in soil texture but, to a great extent, they are associated with the variation in the amount of soil organic matter. Considering the hydrological properties of soil, it is clear that the total pore space is higher in the groups 2 and 3 than in the group 1 (see Ch. 3). The increase seems to be

accompanied by in particular, an increase in the air space at field capacity. Thus, the amelioration measures have rendered the naturally aerobic soils even more aerobic which, from thermal point of view may be a disadvantage. Under the climatic conditions prevailing in Finland it is of importance that the growth substrate has good thermal properties. High amounts of organic matter which give rise to increasing porosity may result in a slow warming up of the soil in the beginning of the growth period and, consequently, a shortening of the growth period. Also the schedule for plant lifting and the planting out of the nursery stock is strained.

Amongst the other hydrological properties, the trends to be seen are not as clear as above. However, the water content at potential pF 4.2 is possibly somewhat higher in the soil groups 2 and 3 than in group 1. This increase in soil water volume at the wilting point in relation to the field capacity may even give rise to a decrease in the content of available water. It can thus be concluded that a repeated spreading of *Sphagnum* peat does not necessarily result in the improvements in soil hydrological properties that are primarily aimed at. For example, despite the range of soil organic matter studied the content of available water in the nursery soils is constant and corresponds to approx. 50 mm irrigation.

With respect to active acidity and electrical conductivity index, the nurseries studied do not differ from each other. The soil pH data, varying within the optimum range for Scots pine and Norway spruce, indicate that the acidifying effect of low humified *Sphagnum* peat has been successfully compensated for by liming.

In section 325 the strong influence of the organic matter content on the effective and potential cation exchange capacities (Table 4, Figure 8 and 9) is discussed. When the exchange capacity is expressed using conventional units (i.e. equivalents per mass unit of soil, meq 100 g⁻¹), the capacities in groups 2 and 3 are, on average, twice that in group 1. The differences are possibly more pronounced in the case of potential capacity. However, because of differences in the relationship between mass and volume for mineral and organic soil fractions the absolute exchange capacities calculated using soil density data (Figure 11) gives contradictory results. The exchange capacities in the groups 2 and 3 are now equal or even lower than that in the group 1. It is therefore concluded that an increase in the amount of organic matter, although itself having a significantly higher number of exchange sites than coarse mineral matter, does not influence the absolute exchange capacity of the nursery soils when expressed on soil volume basis. The volumetric ratio between the pore space and the solids increases so much as to produce a decrease in number of exchange sites per volume unit. Nevertheless, concerning potential leaching a capacity of 6 eq m⁻² 20 cm⁻¹ (Figure 11) would be enough to prevent even high doses of fertilizer cations from being leached down from the tillage layer with irrigation water. A transplanted Scots pine crop during its third growing season in the nursery normally receives the following amounts of nutrients: 18.4 g N, 15.1 g K, 8.4 g Ca, 2.2 g Mg, 0.9 g Mn and 0.3 g Cu per square meter. Assuming that half of the nitrogen is ammonia this dose corresponds to 1.7 eq m⁻².

Liite 1. Näytekohtaiset havaintoarvot.
Appendix 1. The datamaterial given by sample.

	Näytteen numero Number of sample	Hiekka Coarse sand (%) ¹⁾	Hienä Fine sand (%) ¹⁾	Hiesu Silt (%) ¹⁾	Saves Clay (%) ¹⁾	Orgaaninen aines Organic matter (%) ¹⁾	Tihes Bulk density g·cm ⁻³	Huokosavuus Porosity (%) ²⁾	Aineitus Density of solids g·cm ⁻³	pH 2,0 (%) ²⁾	pH 4,2 (%) ²⁾	Hävykapasiteetti Available water (%) ²⁾	Uunatila At 2,0°C (%) ²⁾	Uunatila At 4,2°C (%) ²⁾	K.V.K. pH 8,0:ssa C.E.C. at pH 8,0 m.e. · 100 g ⁻¹	K.V.K. pH 4,5:ssä C.E.C. at pH 4,5 m.e. · 100 g ⁻¹	Johdellus Electrical conductivity index	
Alakärppä																		
1 ⁴⁾	51	43	4	2	8,7	1,24	2,41	48	26	4	22	22	7,4	12,0	4,0	4,28		
2 ⁴⁾	61	36	3	0	5,2	1,40	2,49	44	17	4	13	27	6,7	10,2	4,5	4,28		
3	43	49	6	2	7,8	1,29	2,45	47	27	5	22	20	10,1	13,5	4,2	2,14		
Hietikko																		
4	33	56	6	5	3,3	1,41	2,59	46	30	4	26	16	2,7	7,8	5,8	4,45		
5	48	44	4	4	5,8	1,44	2,51	43	28	6	22	15	8,9	13,2	4,7	10,50		
6	47	40	6	7	3,0	1,13	2,57	56	23	3	20	33	5,1	11,6	4,5	7,74		
7	46	44	5	5	3,5	1,32	2,53	48	— ³⁾	—	—	—	—	—	4,8	2,31		
8 ⁴⁾	52	38	6	4	8,0	1,38	2,48	44	32	4	28	12	10,1	17,5	4,8	3,95		
9	51	39	5	5	5,7	1,29	2,53	49	—	4	—	—	7,5	14,4	4,4	9,88		
Kankaanranta																		
10	13	74	7	6	5,4	1,28	2,53	49	37	6	31	12	7,8	11,8	4,9	4,28		
11	46	42	7	5	2,9	1,43	2,62	45	27	4	23	18	6,9	—	4,5	3,29		
Pekolampi																		
12	52	33	11	4	4,0	1,20	2,61	54	25	4	21	29	5,5	8,5	5,6	1,48		
13	59	32	7	2	5,9	1,42	2,55	44	34	4	30	10	6,7	11,4	5,1	2,31		
14	62	26	9	3	4,7	1,49	2,57	42	32	5	27	10	5,7	11,1	5,2	2,80		
15	40	49	9	2	2,1	1,59	2,63	39	33	2	31	6	3,5	4,7	5,0	3,46		
16 ⁴⁾	52	39	6	3	4,0	1,52	2,58	41	31	2	29	10	4,9	8,8	5,5	3,62		
Pieksämäki																		
17	32	52	12	4	7,3	1,35	2,53	46	37	8	29	9	7,5	17,9	4,7	5,27		
18	45	38	5	2	10,1	0,94	2,48	62	25	5	20	37	7,7	12,3	5,1	—		
19	32	59	7	2	21,9	0,53	2,29	76	36	11	25	40	22,2	35,3	5,4	3,29		
20	28	55	13	4	6,1	1,35	2,57	47	35	5	30	12	5,0	13,3	5,2	3,46		
21	33	53	10	4	23,3	0,83	2,19	62	—	10	—	—	19,0	28,6	4,8	2,47		
22	20	48	26	6	57,6	0,42	1,81	76	50	18	32	26	53,6	76,8	4,2	2,64		
Suonenjoki																		
23	62	30	6	2	11,2	0,87	2,41	64	23	6	17	41	12,4	16,1	4,8	3,13		
24	61	28	8	3	24,3	0,59	2,07	71	18	10	8	53	18,9	32,3	4,8	3,79		
25 ⁴⁾	57	34	7	2	17,7	0,71	2,29	69	31	9	22	38	14,5	19,7	4,8	4,45		
26	68	27	3	2	9,6	0,94	2,46	62	19	5	14	43	8,5	15,2	4,7	5,10		
27	74	24	1	1	7,4	1,05	2,49	58	18	4	14	40	—	11,8	4,7	4,28		
Tapionpelto																		
28 ⁴⁾	39	40	15	6	11,4	0,83	2,46	66	42	6	36	24	11,7	27,5	4,1	4,28		
29	36	38	22	4	11,4	0,82	2,46	67	51	7	44	16	12,9	21,4	4,5	5,10		
30 ⁴⁾	32	40	21	7	14,9	0,73	2,40	70	34	8	26	36	12,2	32,7	5,0	4,45		
Vikom																		
31	48	28	11	13	8,6	0,87	2,51	65	25	9	16	40	—	—	4,8	3,95		
32	55	28	8	9	5,3	0,97	2,56	62	23	7	16	39	—	—	5,8	3,62		
33 ⁴⁾	51	25	8	16	9,3	0,83	2,48	66	26	12	14	40	10,4	22,6	4,7	3,95		

1) Painoprocenttinen luku
1) per cent of weight data

2) tilavuusprosenttinen luku
2) per cent of volume data

3) havainto puuttuu
3) observation missing

4) näytteet, joista orgaaninen
aines poistettu vetyperoksidii-
suolahappo käsitteillä

4) samples from which
organic matter was
eliminated

Liite 2. Laskennoissa käytetyt muuttujat ja niiden indeksit (X_n, Y_n).

Appendix 2. Variables used in the calculations and their indices (X_n, Y_n).

Muuttuja	n	Hyötykapasiteetti, tilavuus-%	11
Variable	n	Available water per cent of volume	
Hiekka, paino-%	1	Kenttäkapasiteetin ilmatila, tilavuus-%	12
Coarse sand, per cent of weight		Air space at field capacity, per cent of volume	
Hieta, paino-%	2	Kationinvaihtokapasiteetti	
Fine sand, per cent of weight		pH:ssa 4,5 m.e. · 100 g ⁻¹	13
Hiesu, paino-%	3	Cation exchange capacity at pH 4.5 meq. · 100 g ⁻¹	
Silt, per cent of weight		Kationinvaihtokapasiteetti	
Saves, paino-%	4	pH:ssa 8,0 m.e. · 100 g ⁻¹	14
Clay, per cent of weight		Cation exchange capacity at pH 8.0, meq. · 100 g ⁻¹	
Orgaaninen aines, paino-%	5	Aktiivihappamuus	15
Organic matter, per cent of weight		Active acidity	
Tiheys, g · cm ⁻³	6	Elektrolyyttipitoisuus johtolukuna	16
Bulk density, g · cm ⁻³		Electrical conductivity index	
Ainestiheys, g · cm ⁻³	7		
Density of solids, g · cm ⁻³			
Huokostilavuus (≈ pF 0 vastaava maaveden määrä), tilavuus-%	8		
Pore space (≈ soil water volume at potential pF 0), per cent of volume			
pF 2,0 vastaava maaveden määrä, tilavuus-%	9	Lisäksi käytettiin delta (Δ) muuttujan etumerkinä kun tarkasteltiin tunnuslukuja joita oli saatu "luonnollisten" ja orgaanisesta aineksesta puhdistettujen näytteiden ominaisuuksien erotuksena.	
Soil water volume at potential pF 2.0 per cent of volume			
pF 4,2 vastaava maaveden määrä, tilavuus-%	10	In addition the prefix delta (Δ) is used for variables obtained as the difference between determinations from samples in "natural" conditions and after elimination of soil organic matter.	
Soil water volume at potential pF 4.2, per cent of volume			

ODC 232.322+114.1/2

ISBN 951-651-059-0

WESTMAN, C. J. 1983. Taimitarhamaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia sekä niiden suhde orgaanisen aineksen määrään. Summary: Physical and physico-chemical properties of forest tree nursery soils and their relation to organic matter content. Acta For. Fenn. 184: 1-34.

The following soil tillage layer properties were determined and discussed: soil particle size distribution, organic matter content, bulk density and density of solids, total pore space, soil water volume at potentials pF 2.0 and 4.2, available water content and air space at potential pF 2.0, active acidity, electrical conductivity index and cation exchange capacities at pH 4.5 and 8.0.

The soil textural class of the parent material was sand, the amount of organic material in the soils varied within very wide limits. Density values clearly decreased as the organic matter content increased from 2 to 25 per cent, indicating an increase in total pore space. However, the amount of water held at potential pF 2.0 and the available water content did not increase with increasing organic matter content.

The cation exchange capacities, when expressed on a mass concentration - mass basis (i.e. meq 100 g⁻¹), were strongly and positively correlated with the organic matter content. However, the absolute number of exchange sites expressed as equivalents in the tillage layer (i.e. eq m⁻² 20 cm⁻¹), did not increase in accordance with the increase in organic matter content.

Author's address: Department of silviculture, University of Helsinki, Unioninkatu 40, SF-00170 Helsinki, Finland.

ODC 232.322+114.1/2

ISBN 951-651-059-0

WESTMAN, C. J. 1983. Taimitarhamaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia sekä niiden suhde orgaanisen aineksen määrään. Summary: Physical and physico-chemical properties of forest tree nursery soils and their relation to organic matter content. Acta For. Fenn. 184: 1-34.

The following soil tillage layer properties were determined and discussed: soil particle size distribution, organic matter content, bulk density and density of solids, total pore space, soil water volume at potentials pF 2.0 and 4.2, available water content and air space at potential pF 2.0, active acidity, electrical conductivity index and cation exchange capacities at pH 4.5 and 8.0.

The soil textural class of the parent material was sand, the amount of organic material in the soils varied within very wide limits. Density values clearly decreased as the organic matter content increased from 2 to 25 per cent, indicating an increase in total pore space. However, the amount of water held at potential pF 2.0 and the available water content did not increase with increasing organic matter content.

The cation exchange capacities, when expressed on a mass concentration - mass basis (i.e. meq 100 g⁻¹), were strongly and positively correlated with the organic matter content. However, the absolute number of exchange sites expressed as equivalents in the tillage layer (i.e. eq m⁻² 20 cm⁻¹), did not increase in accordance with the increase in organic matter content.

Author's address: Department of silviculture, University of Helsinki, Unioninkatu 40, SF-00170 Helsinki, Finland.

ODC 232.322+114.1/2

ISBN 951-651-059-0

WESTMAN, C. J. 1983. Taimitarhamaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia sekä niiden suhde orgaanisen aineksen määrään. Summary: Physical and physico-chemical properties of forest tree nursery soils and their relation to organic matter content. Acta For. Fenn. 184: 1-34.

The following soil tillage layer properties were determined and discussed: soil particle size distribution, organic matter content, bulk density and density of solids, total pore space, soil water volume at potentials pF 2.0 and 4.2, available water content and air space at potential pF 2.0, active acidity, electrical conductivity index and cation exchange capacities at pH 4.5 and 8.0.

The soil textural class of the parent material was sand, the amount of organic material in the soils varied within very wide limits. Density values clearly decreased as the organic matter content increased from 2 to 25 per cent, indicating an increase in total pore space. However, the amount of water held at potential pF 2.0 and the available water content did not increase with increasing organic matter content.

The cation exchange capacities, when expressed on a mass concentration - mass basis (i.e. meq 100 g⁻¹), were strongly and positively correlated with the organic matter content. However, the absolute number of exchange sites expressed as equivalents in the tillage layer (i.e. eq m⁻² 20 cm⁻¹), did not increase in accordance with the increase in organic matter content.

Author's address: Department of silviculture, University of Helsinki, Unioninkatu 40, SF-00170 Helsinki, Finland.

ODC 232.322+114.1/2

ISBN 951-651-059-0

WESTMAN, C. J. 1983. Taimitarhamaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia sekä niiden suhde orgaanisen aineksen määrään. Summary: Physical and physico-chemical properties of forest tree nursery soils and their relation to organic matter content. Acta For. Fenn. 184: 1-34.

The following soil tillage layer properties were determined and discussed: soil particle size distribution, organic matter content, bulk density and density of solids, total pore space, soil water volume at potentials pF 2.0 and 4.2, available water content and air space at potential pF 2.0, active acidity, electrical conductivity index and cation exchange capacities at pH 4.5 and 8.0.

The soil textural class of the parent material was sand, the amount of organic material in the soils varied within very wide limits. Density values clearly decreased as the organic matter content increased from 2 to 25 per cent, indicating an increase in total pore space. However, the amount of water held at potential pF 2.0 and the available water content did not increase with increasing organic matter content.

The cation exchange capacities, when expressed on a mass concentration - mass basis (i.e. meq 100 g⁻¹), were strongly and positively correlated with the organic matter content. However, the absolute number of exchange sites expressed as equivalents in the tillage layer (i.e. eq m⁻² 20 cm⁻¹), did not increase in accordance with the increase in organic matter content.

Author's address: Department of silviculture, University of Helsinki, Unioninkatu 40, SF-00170 Helsinki, Finland.

ACTA FORESTALIA FENNICA

- 168 Wuolijoki, E. 1981. Effects of simulated tractor vibration on the psychophysiological and mechanical functions of the driver: Comparison of some excitatory frequencies. Seloste: Traktorin simuloidun värinän vaikutukset kuljettajan psykofysiologisiin ja mekaanisiin toimintoihin: Eräiden herätetaajuuksien vertailu.
- 169 Chung, M.-S. 1981. Flowering characteristics of *Pinus sylvestris* L. with special emphasis on the reproductive adaptation to local temperature factor. Seloste: Männyn (*Pinus sylvestris* L.) kukkimisominaisuuksista, erityisesti kukkimisen sopeutumisesta paikalliseen lämpöilmastoon.
- 170 Savolainen, R. & Kellomäki, S. 1981. Metsän maisemallinen arvostus. Summary: Scenic value of forest landscape.
- 171 Thammincha, S. 1981. Climatic variation in radial growth of Scots pine and Norway spruce and its importance to growth estimation. Seloste: Männyn ja kuusen sädekasvun ilmastollinen vaihtelu ja sen merkitys kasvun arvioinnissa.
- 172 Westman, C. J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type class and potential stand growth. Seloste: Pintaturpeen viljavuuden tunnuksot suhteessa kasvupaikkatyyppiin ja puuston kasvupotentiaaliin.
- 173 Chung, M.-S. 1981. Biochemical methods for determining population structure in *Pinus sylvestris* L. Seloste: Männyn (*Pinus sylvestris* L.) populaatiarakenteesta biokemiallisten tutkimusten valossa.
- 174 Kilkki, P. & Varmola, M. 1981. Taper curve models for Scots pine and their applications. Seloste: Männyn runkokäyrämalleja ja niiden sovellutuksia.
- 175 Leikola, M. 1981. Suomen metsätieteellisen julkaisutoiminnan rakenne ja määrällinen kehitys vv. 1909–1978. Summary: Structure and development of publishing activity in Finnish forest sciences in 1909–1978.
- 176 Saarilahti, M. 1982. Tutkimuksia radioaaltojen soveltuvuudesta turvemaiden kulkelupoisuuden arvioimiseen. Summary: Studies on the possibilities of using radar techniques in detecting the trafficability of peatlands.
- 177 Hari, P., Kellomäki, S., Mäkelä, A., Ilonen, P., Kanninen, M., Korpilahti, E. & Nygrén, M. 1982. Metsikön varhaiskehityksen dynamiikkaa. Summary: Dynamics of early development of tree stand.
- 178 Turakka, A., Luukkanen, O. & Bhumibhamon, S. 1982. Notes on *Pinus kesija* and *P. merkusii* and their natural regeneration in watershed areas of northern Thailand. Seloste: Havaintoja männyistä (*Pinus kesija* ja *P. merkusii*) ja mäntyjen luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Thaimaan vedenjakaja-alueilla.
- 179 Nyssönen, A. & Ojansuu, R. 1982. Metsikön puutavaralajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands.
- 180 Simula, M. 1983. Productivity differentials in the Finnish forest industries. Seloste: Tuottavuuden vaihtelu Suomen metsäteollisuudessa.
- 181 Pohjola, E. & Pohjola, T. 1983. Lehvästöröiskutuksen ajoitus kasvukauden aikana. Summary: The timing of foliage spraying during the growing season.
- 182 Kilkki, P. 1983. Sample trees in timber volume estimation. Seloste: Koepuut puuston tilavuuden estimoinnissa.
- 183 Mikkonen, E. 1983. The usefulness of some techniques of the mathematical programming as a tool for the choice of timber harvesting system. Seloste: Eräiden matemaattisen ohjelmoinnin menetelmien käyttö puun korjuun ja kuljetuksen sekä tehdaskäsittelyn menetelmävalinnan apuvälineenä.

KANNATTAJAJÄSENET – SUPPORTING MEMBERS

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

ISBN 951-651-059-0

Arvi A. Karisto Oy:n kirjapaino
Hämeenlinna 1983