

Juha Heiskanen

KANGASMAIDEN VESITALOUS
Kirjallisuustarkastelu

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 339
Maantutkimusosasto

Juha Heiskanen

Kangasmaiden vesitalous

Kirjallisuustarkastelu

Vantaa 1989

ISBN 951-40-1069-8

ISSN 0358-4283

Valtion painatuskeskus
Kampin VALTIMO
Helsinki 1989

SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	5
2. MAAN VESITALOUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	6
21. Yleistä.....	6
22. Ilmasto.....	7
23. Topografia.....	10
24. Maan fysikaaliset ominaisuudet.....	11
241. Orgaaninen aines.....	11
242. Raekoostumus ja rakenne.....	12
243. Kangasmaiden kosteusolot.....	16
25. Puusto ja aluskasvillisuus.....	18
26. Maaeliöstö.....	21
3. MAAN VESITALOUS JA KASVUPAIKAN VILJAVUUS.....	21
31. Vesi kasvutekijänä.....	21
311. Kasvien vedentarve.....	21
312. Kasvien vedenotto.....	22
313. Vesi ja kasvituotos.....	24
32. Vesitalous ja kasvupaikkatyypit.....	26
4. METSÄNHÖITO JA KANGASMAIDEN VESITALOUS.....	31
41. Metsänhoidon vaikutus maan vesitalouteen.....	31
411. Hakkuut.....	31
412. Koneiden käyttö.....	32
413. Maanmuokkaus ja kulotus.....	33
414. Lannoitus.....	36
415. Muita toimenpiteitä.....	37
42. Kasvupaikan vesitalouden huomioonottaminen metsän- hoidon toimenpideohjeissa.....	38
5. PÄÄTELMÄT.....	39
KIRJALLISUUSLUETTELO.....	41

1. JOHDANTO

Metsämaan vesitalouden tutkimus on kohdistunut maassamme erityisesti turvemaiden ominaisuuksiin ja soiden ojitukseen. Sen sijaan kangasmaiden vesitalouteen on kiinnitetty vähän huomiota, vaikka maan vesitalous on kangasmaillakin yksi tärkeimmistä kasvupaikkatekijöistä. Lisäksi kangasmetsien vesitalouskysymysten tarkastelu on ollut hajanaista, minkä vuoksi on vaikeaa luoda kokonaiskuvaa veden merkityksestä kasvupaikkatekijänä alueellisesti tai kasvupaikkatyypeittäin.

Soistuneilla kangasmaillamme liiallinen vesi haittaa metsän kasvatusta, kun taas kuivilla kankailla vedenpuute saattaa rajoittaa puuston kasvua. Metsänhoidon toimenpideohjeissa maan vesitalouden huomioonottaminen on yleensä kaavamaista, mikä osaltaan johtunee tutkimustiedon vähyydestä. Metsämaan vedenpidätyskyky riippuu ensisijaisesti maan raekokojakaumasta ja orgaanisen aineksen määrästä, joiden kautta maan vesitalouteen voidaan vaikuttaa mahdollisesti jo tavanomaisin metsänhoidon menetelmin sekä varsinaisin maanparannustoimenpitein.

Tämän kirjallisuustarkastelun tavoitteena on kartoittaa ja koota kangasmaidemme vesitaloutta koskevaa tutkimustietoa ja arvioida samalla vesitalouden merkitystä metsähoidossa. Tarkastelussa otetaan huomioon kangasmaiden hydrologisiin ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät ja metsänhoidon toimenpiteiden perusteet.

Tutkimus perustuu Suomen Akatemian rahoittaman esitutkimushankkeen loppuraporttiin: Eino Mälkönen ja Juha Heiskanen "Kangasmaiden vesitalous". Prof. Matti Leikola, apul. prof. C.J. Westman, dos. Jukka Laine, MMT Olavi Laiho ja mti Teuvo Levula ovat lukeneet käsikirjoituksen ja esittäneet siihen varteenotettavia korjausehdotuksia. Kiitokset kaikille tutkimukseen myötävaikuttaneille.

2. MAAN VESITALOUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

21. Yleistä

Käsitettä **maan vesitalous** käytetään yleisterminä tarkasteltaessa maaperässä olevan veden tilaa kuvaavien tekijöiden, kuten vesipitoisuuden, maaveden jännityksen, veden liikkeen, ja niiden muutosten sekä näihin vaikuttavien tekijöiden muodostamaa kokonaisuutta (vrt. esim. Hillel 1971, Scroeder 1984). Vesitalous rinnastetaan usein **vesioloihin** tai **vesisuhteisiin**, ja laajasti ymmärrettäessä sitä myös pidetään osana **hydrologiaa** (esim. Maa- ja pohjavesisanasto 1976, Sovellettu hydrologia 1986). Kasvupaikan **vesitalouden edullisuus** ymmärretään metsänhoidossa kasvillisuuden menestymisen kannalta (esim. Troedsson ja Nykvist 1973), ja sitä mitataan yleensä energiasuhteiden avulla (esim. Päivänen 1973). Maaveden terminologiaa ja mittaamista ovat selvitelleet mm. Hillel (1971) ja Päivänen (1973).

Tiettyä pinta-alaa kohti laskettu **vesitase** tiettynä aikajaksona voidaan esittää yksinkertaistettuna seuraavasti (esim. Hillel 1971, Ahti 1987):

$$(1) P = R + ET + \Delta S, \text{ missä}$$

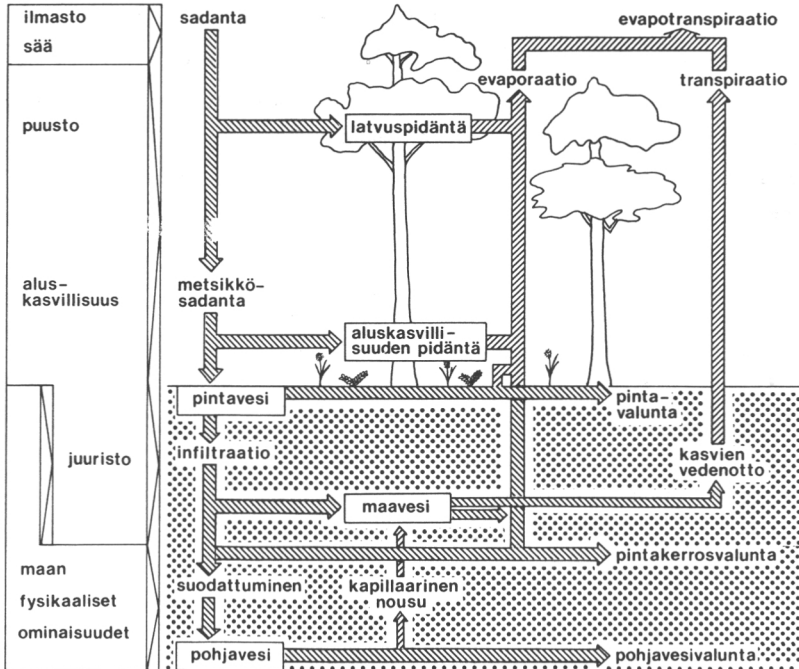
P = sadanta

R = valunta

ET = haihdunta

ΔS = vesivaraston muutos.

Vesitaseen osatekijöiden määrittelyä selventää kuva 1. Metsikössä vesitaseeseen ja maan vesitalouteen vaikuttavat tämän mukaisesti ilmasto- ja sääolot, kasvillisuustekijät (metsikköilmasto ja vedenotto) ja maan fysikaaliset ominaisuudet sekä ihmisen toimenpiteet. Kangasmaiden vesitalous sisältää tässä tarkastelussa nämä tekijät.



Kuva 1. Periaatekaavio maan vesitaloudesta ja siihen vaikuttavista päätekijöistä.

22. Ilmasto

Suomi kuuluu viilleään ilmastovyöhykkeeseen, joka vastaa boreaalista kasvillisuusvyöhykettä (esim. Kalliola 1973). Siinä lämpimimmän kuukauden keskilämpötila on yli 10 °C, mutta kesä (vuorokauden keskilämpötila > 10 °C) on kestoltaan korkeintaan neljä kuukautta. Vallitsevan kasvillisuus- aluetyyppinsä mukaan vyöhykettä nimitetään myös kangas- metsä-, havumetsä- tai taiga-alueeksi.

Suomi sijaitsee pohjoisten kylmien ja eteläisten lämpimien ilmassojen raja-alueella, jossa lämmintä ilmaa tuovien matalapaineiden kulkusuunta on useimmiten lounaasta koilliseen. Golf-virran vaikutuksesta meret ja ilmavirtaukset tekevät maamme ilmaston leudommaksi kuin muualla samoilla leveysasteilla (esim. Solantie 1968). Talvella Euraasian mantereeseen jäähtyminen kylmentää myös Suomen ilmastoa, minkä vuoksi keskitalvella on usein pitkiä pakkaskausia. Kesällä mantereelta tulevat ilmavirtaukset aiheuttavat taas hellepäiviä. Mantereisista piirteistä huolimatta merellinen vaikutus ilmastoomme on huomattavan voimakas (Kolkki 1969).

Maan vesitalouteen vaikuttavista ilmastollisista tekijöistä sademäärä on tärkeimpiä. Ilmastollemme on ominaista sadeiden epäsäännöllisyys. Kuukausikeskiarvojen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että vähäsateisinta on maaliskuussa ja runsassateisinta heinä-elokuussa. Vaikka poutapäiviä on vähiten talvella, talvisateet (mm vettä) ovat vain noin puolet kesän sademäärästä. Kesäsateet, jotka ovat sisämaassa valtaosaltaan kuurosateita, ovat määrältään selvästi suuremmat kuin rannikolla. Meren vaikutus sademääriin onkin selvempi kesällä kuin talvella. Vuotuinen keskisademäärä (700-400 mm) vähenee pääpiirteittäin etelästä pohjoiseen (esim. Simojoki 1966, Kolkki 1969, Heino 1977, Solantie ja Ekholm 1985).

Evapotranspiraatio vähentää maaperän kosteutta. Suomessa haihdunta on talvella hyvin vähäistä, mutta se lisääntyy keväällä lämpötilan noustessa ja saavuttaa maksiminsa kesäkuussa ja alenee taas syksyä kohden. Sademäärä puolestaan kasvaa kevästä syyskesää kohti. Elokuussa haihdunta on jo kaikkialla Suomessa sadantaa pienempi. Siten ilman absoluuttinen kosteus (vastaa mm:nä vesihöyrynpainetta) on suurimmillaan kesä-heinäkuussa ja pienimmillään helmikuussa. Arvot pienenevät etelästä pohjoiseen. On huomattava, että ilman suhteellinen kosteus on suuri talvella ja pieni kesällä päinvastoin kuin vesihöyrynpaine. Lisäksi suhteellinen kosteus on lähes yhtä suuri pohjoisessa kuin etelässä.

Haihduntapotentiaalia kuvaava kyllästysvajaus on suurin kesäkuussa ja pienin ensimmäisellä vuosineljänneksellä. Nämäkin arvot pienevät siirryttäessä etelästä pohjoiseen päin. Ilmasto on siten humidisempi Lapissa kuin Etelä-Suomessa, vaikka pohjoisessa sadanta onkin pienempi (esim. Kolkki 1969, Solantie 1974).

Ilman lämpötila määrää kosteuden ohella ilman kyllästysvauksen ja vaikuttaa siten olennaisesti haihduntaolojen kautta myös maan vesitalouteen. Kuukausittaiset keskilämpötilat alenevat siirryttäessä lounaasta koilliseen. Rannikoilla meri tasoittaa vuodenaikaisia lämpötilavaihteluita. Lämpimimmän ja kylmimmän kuukausikeskiarvon erotus on merellä 20 °C (-4 - +16) ja sisämaassa jopa 28 °C (-14 - +14). Meren vaikutus ilman lämpötilaan on talvella suurempi kuin kesällä, jolloin ilmavirtaukset ovat melko heikkoja ja vaihtelevan suuntaisia. Kasvukauden pituus eli niiden vuorokausien lukumäärä, jolloin keskilämpötila on yli 5 °C, muuttuu etelästä pohjoiseen mentäessä 180...100 vrk. Tehoisa lämpötilasumma, jolla usein selitetään kasvillisuuden menestymistä, vaihtelee samassa suunnassa 1350...400 d.d. (esim. Kolkki 1969).

Lämpötilan laskiessa syksyisin alle 0 °C maa alkaa routaantua. Maan kosteus kasvaa routakerroksessa talven aikana kosteuden siirtyessä lämpötilagradientin mukaisesti lämpimästä viilleään päin. Routaantuminen riippuu lähinnä maalajista. Routaantumista vähentää maata peittävän, eristävän lumikerroksen muodostuminen (esim. Soveri 1964, Sovellettu hydrologia 1986). Roudan ja lumen sulamisen vuoksi maan vesipitoisuus on usein keväällä ja alkukesällä kenttäkapasiteetissa tai sen yli (esim. Heinonen 1957, Seuna 1977, Heiskanen 1988). Alkukesälle ominaisten ilmasto-olojen vuoksi kesäkuussa maa kuivuu voimakkaasti, mutta kostuu jo elokuussa. Maa on siten kuivimmillaan heinäkuussa, jolloin valuntakin on vähäisintä (Solantie 1974). Erityisesti heinäkuun vesitase voi olla merkityksellinen metsäpuiden menestymiselle, koska tällöin kasvukauden aikainen kuivuusstressi on suurim-

millaan. Myös kesäkuun vesitase on metsille tärkeä, koska haihdunnan ja sadannan erotus on tällöin suurin ja maan pintakerros on kuivaa (Solantie 1974). Luonnollisesti kasvien juurten ja versojen todellisen kasvukauden pituus määrää kuivuuden merkityksen kasvulle termisen kasvukauden aikana. Kasvun päätyttyäkin kuivuus voi vaikuttaa kasvien menestymiseen kasvupaikalla.

23. Topografia

Veden liike suuntautuu maan pinnalla (pintavalunta) ja osin myös maaprofiilissa (infiltraatio, pintakerros- ja pohjavesivalunta) maan kaltevuusgradientin mukaan (esim. Schuster 1974, Greminger 1984, Johansson 1985, Moore ym. 1986). Maan kosteus ja veden liikkuvuus määräytyvät siten maan vedenpidätyskyvyn lisäksi maaston kaltevuuden sekä rinteiden muodon ja pituuden perusteella.

Maaston korkeuserot lisääntyvät maassamme pohjoista kohti siirryttäessä. Siten Pohjois-Suomen korkeilla rinteillä maan vesitalous voi olla heikko, koska sadevedet valuvat nopeasti rinnettä pitkin alaspäin ja haihdunta on suuri tuulisuuden vuoksi. Vesitaloutta heikentää myös se, että korkeuden lisääntyessä maan vedenpidätyskyky pienenee, koska humuskerroksen paksuus ja hienojen lajitteiden osuus vähenevät (Poso ja Kujala 1973, Roiko-Jokela 1980, Norokorpi ja Kärkkäinen 1985).

Suomessa maanpinnan tavanomaisilla kaltevuuksilla sinänsä ei ole olennaista merkitystä kasvupaikan lämpöoloille. Rinteiden ilmansuunta sen sijaan vaikuttaa lähinnä lämpöolojen, ilmeisesti osin myös vesitalouden kautta kasvuoloihin. Pohjois-Suomessa eksposition vaikutus on selvästi merkittävämpi kuin Etelä-Suomessa. Lapissa etelä-länsirinteiden kasvuolot ovat edullisimmat (Norokorpi ja Kärkkäinen 1985).

Pohjavedenpinnan syvyys riippuu maaston topografian ohella myös ilmastosta ja maan vedenpidätyskyvystä. Pohjavesi on keskimäärin ylimmillään keväällä, kun lumi ja routa ovat sulaneet, ja alimmillaan kevättälvella (esim. Soveri 1985). Pohjavedenpinta on yleensä 0,5-5 m maanpinnasta, mutta harjuissa ja kallioperässä pohjavesi voi olla huomattavasti syvemmällä (esim. Perttu ym. 1980, Hydrologinen... 1981). Maaston pinnanmuodostuksesta aiheutuva korkea pohjavesitaso voi kompensoida maan pienestä vedenpidätyskyvystä johtuvaa heikkoa vesitaloutta (Troedsson 1955, Pritchett ja Fisher 1987). Ruotsissa metsämaiden luokituksessa käytetäänkin topografian ja pohjavedenpinnan syvyyden perusteella määritetyjä maan vesitaloustunnuksia (esim. Lundin 1977, Hägglund ja Svensson 1982a,b, Lundmark 1986).

24. Maan fysikaaliset ominaisuudet

241. Orgaaninen aines

Maan orgaanisen aineksen vedenpidätyskyky on suhteellisen suuri, sillä se voi pidättää vettä noin 3-5 kertaa oman massansa verran (esim. Troedsson ja Nykvist 1973, Scheffer ja Schachtschabel 1976). Humuskerrosta peittävä lehti- ja neulaskerike voi pidättää vuoden kokonaissadannasta huomattavan osan, jopa kolmanneksen (Curtis 1960). Heiskasen (1988) tutkimissa eteläsuomalaisissa kangasmaissa humuskerroksen hyötykapasiteetti vaihteli välillä 13-22 tilavuus-%:a.

Humuskerros tasaa maaperän kosteusoloja. Se voi pidättää rankankin kertasateen koko vesimäärän (Troedsson 1955, Curtis 1960). Humuskerros vähentää siten haihduntaa ja pintavaluntaa (esim. Aaltonen 1940, Curtis 1960, Hoffmann 1968). Karikekerros lisää infiltraatiota ja heikentää sateen mekaanista vaikutusta maanpintaan, mikä vähentää maan tiivistymistä (Pritchett ja Fisher 1987). Erityisesti Pohjois-Suomen humidisissa ilmasto-oloissa paksu humuskerros voi

sisältää liikaa vettä, jolloin tiiviiden maiden vesitalous on kasvien kannalta epäedullinen (esim. Lähde 1984).

Kivennäismaan orgaaninen aines lisää maan ominaispinta-alaa ja edistää mururakenteen muodostumista, joten se myös lisää maan vedenpidätyskykyä samoin kuin veden kapillaarista liikkuvuutta (esim. Troedsson ja Nykvist 1973, Lundmark 1986, Tate 1987). Metsämaan aktuaalisen vesipitoisuuden on todettu Lapissa lisääntyvän orgaanisen aineksen lisääntyessä (Sepponen ym. 1979).

Maan pintakerroksen kivisyys vähentää humuskerroksen vedenpidätyskykyä, koska kivet lisäävät karkeahuokosten määrää ja vedenläpäisevyyttä (Troedsson 1955, Pritchett ja Fisher 1987). Humuskerroksen koostumus vaikuttaa vedenpidätyskykyyn. Lehti- ja neulaskarikkeesta muodostuneet humuskerrokset pidättävät vettä tosin lähes yhtä hyvin tilavuusyksikköä kohti. Lehtikarrike maatuu kuitenkin nopeammin ja sen tiheys on suurempi kuin neulaskarikkeen; massayksikköä kohti neulaskarikkeesta muodostunut humuskerros pidättääkin vettä enemmän (lähinnä käyttökelpoisen maaveden alueella). Orgaanisen aineksen tiheyden ja pakkautuneisuuden lisääntyessä vedenpidätyskyky (tilavuus-%:na) kasvaa tietyissä rajoissa (Viro 1955, Curtis 1960, Heinonen 1960, Pritchett ja Fisher 1987). Turpeen tiheys ja vedenpidätyskyky (alueella n. pF 2-4) kasvavat maatuneisuuden lisääntyessä (esim. Päivänen 1973, 1982b). Kivennäismaahan lisättynä orgaaninen aines kasvattaa maan vedenpidätyskykyä ja tietyissä rajoissa lisättynä myös hyötykapasiteettia (Andersson 1967, Westman 1983).

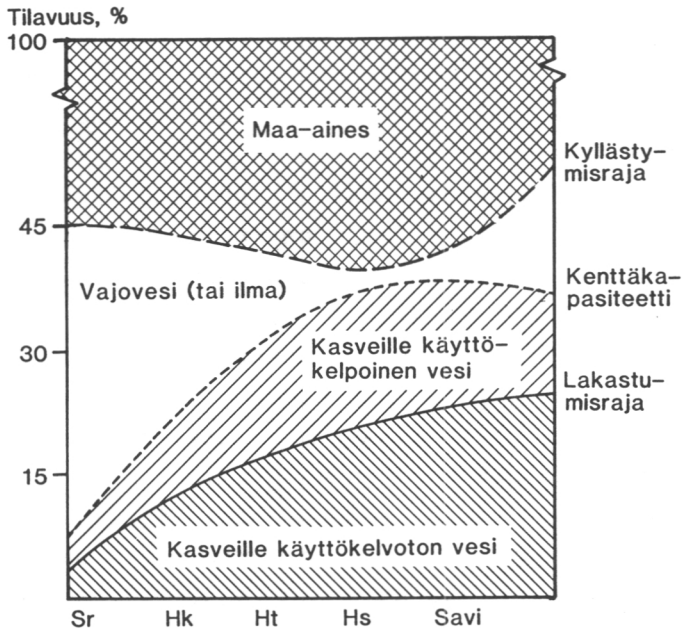
242. Raekoostumus ja rakenne

Maan vedenpidätyskyky määräytyy huokoskokojakauman perusteella. Huokoskokojakauma riippuu ensisijassa orgaanisen aineksen määrän lisäksi kivennäismaan raekokojakaumasta sekä maan rakenteesta. Maan huokoskokojakauma vaikuttaa maaveden

jännityksen ohella myös maan vedenläpäisevyyteen ja veden liikkuvuuteen (esim. Troedsson ja Nykvist 1973, Hartge 1978).

Karkeiden maalajien ($> 0,06$ mm) lisääntyessä ja huokoskokojakauman painottuessa vastaavasti suurien huokosten osalle maan vedenpidätyskyky ja veden kapillaarinen liikkuvuus pääsääntöisesti vähenevät samalla kun vedenläpäisevyys kasvaa. Hienojen fraktioiden ($< 0,06$ mm) lisääntyessä maan vedenpidätyskyky sekä veden kapillaarinen liikkuvuus kasvavat (esim. Andersson ja Wiklert 1972, Westman 1983, Heiskanen 1988). Maaveden jännityksen lisääntyessä vedenpidätyskyky on suhteellisesti ottaen sitä suurempi, mitä pienempi raekoko on. Suurilla jännityksen arvoilla vettä sitoutuu siis sitä enemmän mitä suurempi on maan ominaispinta-ala, joka taas kasvaa raekoon pienentyessä (esim. Hillel 1971). Tästä seuraa, että lakastumisrajalla sitoutuva vesimäärä voi olla hyvin hienojakoisessa maassa niin suuri, että hyötykapasiteetti muodostuu pienemmäksi kuin karkeajakoisessa maassa (kuva 2). Suuri savespitoisuus lisää siten vedenpidätyskykyä, mutta hyötykapasiteetti voi pienentyä. Näin voi käydä myös maan humuskolloidien lisääntyessä (Andersson ja Wiklert 1972, Westman 1983, Heinonen 1985). Anderssonin ja Wiklertin (1972) mukaan hiekan, karkean hiedan ja saven hyötykapasiteetit ovat 2,6 ja 41,3 sekä 17,3 tilavuus-%:a. Heiskanen (1988) tutkimissa kangasmaissa kivennäsmään (orgaanista aineesta sisältävän) hyötykapasiteetin vaihteluväli oli 3-28 tilavuus-%:a.

Kullakin maalajitefraktiolla on sille ominainen huokoskokoalueensa. Tämän perusteella määräytyy se optimaalinen maaveden jännityksen alue, jolla lajitteen vedenpidätyskyky on suhteellisesti ottaen suurin verrattuna muihin lajitteisiin. Maa on kuitenkin harvoin täysin lajittunutta ja siten tietty, useista lajitteista koostetut tunnuksat selittävätkin yleensä paremmin maan vesitaloudellisia ominaisuuksia kuin yksittäiset lajitteet. Näitä tunnuksia voivat olla esim. karkea ($> 0,06$ mm) ja hieno ($< 0,06$ mm) fraktio, keskira-



Kuva 2. Käyttökelpoisen veden määrän riippuvuus maalajitteesta (Danfors 1963, Mälkönen 1982).

koko ja hiekka-hiesu-suhde (esim. Sepponen 1981, 1982, 1984, Schuh ja Bauder 1986, Heiskanen 1988). Erilaisille metsäalueille esim. Etelä- ja Pohjois-Suomelle saattavat soveltua parhaiten erilaiset tunnuksat, koska Pohjois-Suomessa metsämaat ovat pääosin hieman karkeampia (esim. Sepponen ym. 1979, Sepponen 1981).

Huokoskokojakauman primaarihuokokset johtuvat maan raakoostuksesta ja sekundaarihuokokset sen rakenteesta (Scheffer ja Schachtschabel 1976). Mururakenteen osuus ja pysyvyys riippuvat suuresti saveksen ja orgaanisen aineksen määrästä ja laadusta, koska maahiukkasten liittyminen toisiinsa tapahtuu kolloidien vaikutuksesta (esim. Scheffer ja Schachtschabel 1976). Maan vedenpidätyskyvyn on usein todettu lisääntyvän alhaisilla maaveden jännityksen arvoilla ($n. < pF 1,5$), kun

lähinnä karkeahuokosten osuus maassa nousee mururakenteisuuden lisääntyessä (esim. Hillel 1971, Hartge 1978). Salter ja Williams (1965) ovat kuitenkin osoittaneet, että maan sekundaarirakenne vaikuttaa merkittävästi vedenpidätyskykyyn myös em. suuremmilla jännityksen arvoilla.

Maan tiheys lisääntyy ja huokoisuus alenee lajittuneisuuden ja pakkautuneisuuden kasvaessa. Tällöin erityisesti suurten huokosten osuus vähenee ja siten myös vedenpidätyskyky alenee alhaisilla maaveden jännityksen arvoilla. Maan tiheyden lisääntyessä ja huokostilan pienentyessä myös vedenläpäisevyys saattaa vähentyä (esim. Buchmann 1969, Lundin 1977, Arya ja Davis 1981, Haverkamp ja Parlange 1986). Kostumisen ja kuivumisen vuoksi erityisesti savimaa turpoaa ja kutistuu, jolloin muodostuu halkeamia ja karkeahuokosia. Myös maata kuohkeuttava routa vaikuttaa suotuisasti rakenteen muodostumiseen. Routaantuminen on voimakkainta hienohieta- ja hiesumailloilla, joilla myös veden kapillaarinen liikkuvuus on suurinta (esim. Soveri 1964, Airaksinen 1978, Kivisaari 1984).

Veden imeytyminen alempiin maakerrokseen ja suodattuminen pohjaveteen on sitä helpompaa mitä karkeampaa ja tasarakeisempaa maa on. Maan kerroksellisuus heikentää siten vedenläpäisevyyttä. Veden kohdatessa hienojakoisen kerroksen liike hidastuu. Mitä hienompia huokosia kerroksessa on sitä enemmän vesi pidättyy niihin ja sitä hitaampaa veden liike on. Savikerros maassa voi muodostaa orsivesitason. Veden imeytyessä karkeajakoiseen kerrokseen sen liike myös hidastuu. Suuret huokokset vaativat alhaisemman maaveden jännityksen (suuremman vesipitoisuuden), jotta vesi täyttäisi näitä huokosia. Tällöin karkeajakoista kerrosta edeltävässä maakerroksessa vesipitoisuus nousee ja veden liike hidastuu, ennenkuin vesi imeytyy alaspäin (esim. Aaltonen 1940, Pritchett ja Fisher 1987). Moreenin sekalajitteinen maa-aines on pohjamaassa varsin tiivistä ja sen vedenläpäisevyyttä on pidetty pienenä (esim. Aaltonen 1940).

243. Kangasmaiden kosteusolot

Suomen kangasmaiden vesitalouteen vaikuttavista maaperätekijöistä yleistettävää tietoa on lähinnä vain maalajeista. Valtakunnan metsien ensimmäisessä ja toisessa inventoinnissa on tehty arvioita maalajien esiintymisestä (Ilvessalo 1933, Aaltonen 1941). Jälkimmäisen mukaan kasvullinen metsämaa jakaantuu päämaalajien mukaan seuraavasti (%):

Alue	Moreenimaa hietainen	hiesui- nen ja savinen	Somero- maa	Hiekka- maa	Hieta- maa	Hiesu- ja savimaa
Etelä-Suomi	70.3	6.2	2.4	12.5	4.1	4.5
Pohjois-Suomi	72.9	4.2	0.9	13.4	5.5	3.1

Tässä inventoinnissa moreenit on kuitenkin tavanomaisesta poiketen luokiteltu maastossa silmävaraisesti "hienoimman aineksen" mukaan (Ilvessalo 1937, Aaltonen 1941). Maatalouden tutkimuksissa valtaosan Suomen kivennäismaista on arvioitu olevan moreenimaita (Kivinen 1941). Aarnion (1938) mukaan moreeneissamme valtalajitteina ovat yleensä karkea hieta ja hiekka (vrt. Granlund ja Wennerholm 1935). Maaperän peruskartoitus kattaa systemaattisesti vasta eteläisimmän Suomen, joten maalajien keskimääräisestä jakaantumisesta ei ole valtakunnallisesti luotettavaa tietoa. Kuitenkin on arvioitu, että moreenimaita olisi selvästi yli puolet maan pinta-alasta (Kujansuu 1985). Moreenimaat jakaantuvat pääpiirteittäin soramoreeneihin (10%), hiekkamoreeneihin (75%) ja hienoaineksisiin moreeneihin (15%) (Haavisto 1983). Siten toisen VMI:n maalajiluokituksessa hienoaineksisten moreenien osuudet sekä mahdollisesti myös moreenimaiden osuus yleensä ovat yliarvioita.

Vesitaloudeltaan hyvinä voidaan pitää hietaisia moreenimaita ja lajittuneita hietamaita. Niiden kosteus- ja ilmavuusolot ovat metsäpuiden kasvulle suotuisat. Karkearakeiset hiekka- ja sora-moreenit lienevät vesitaloudeltaan ainakin tyydyttäviä. Viron (1947) mukaan Etelä-Suomen moreenimaat ovat yleisesti ottaen vesitaloudeltaan hyviä; ne sisältävät hienoja maa-aineksia vedenpidätyskyvyn kannalta riittävästi. Heiskasen (1988) tutkimissa moreenimaissa (valtalajite hienohiekka) vesipitoisuus pysyikin keskimäärin kasvukauden (v. 1985) aikana lähes kenttäkapasiteetissa.

Vesitaloudeltaan heikkoja ovat lähinnä somero- ja hiekka-maat. Ne ovat kuivia ja niissä vedenpidätyskyky ja veden kappilaarinen liikkuminen on vähäistä (esim. Aaltonen 1940, Rajakorpi 1984). Etelä-Suomen kuivilla, lajittuneilla mäntykankailla erityisesti pohjamaan (60-100 cm syvyys) heikko vedenpidätyskyky rajoittaa metsien kasvua (Viro 1947). Myös Pohjois-Suomen lajittuneilla mäntykankailla pohjamaan vedenpidätyskyvyn ja metsän tuotoskyvyn välillä on selvä positiivinen korrelaatio (Viro 1962).

Veden liiallisen varastoitumisen vuoksi erityisesti hiesu- ja savimaat sekä hiesu- ja savimoreenit ovat vesitaloudeltaan huonoja. Varsinkin pohjamaassa pakkautuneisuuden ja hienojen lajitteiden suuren osuuden takia huokostila saattaa olla liiaksi veden hallussa kasvien kannalta. Lisäksi maan routivuus voi olla haitallisen voimakasta (Soveri 1964).

Maamme etelä- ja pohjoisosien metsämaiden maalajisuhteet ovat pääasiallisesti samanlaisia. Savimaita on Etelä-Suomessa kuitenkin enemmän kuin Pohjois-Suomessa. Karkeiden ja keskikarkeiden maiden osuus on Pohjois-Suomessa hieman suurempi (esim. Ilvessalo 1933, Aaltonen 1941, Sepponen ym. 1979, Lähde ym. 1981). Pohjois-Suomen hienojakoisilla, vedenpidätyskyvyltään hyvillä, tuoreilla kangasmailla (esim. HMT) vesitalous voi olla epäedullinen, koska ilmaston humi-disuus johtaa usein paksun humuskerroksen ja kivennäismaan

liialliseen kostumiseen. Suuri vesipitoisuus heikentää lisäksi maan lämpötaloutta (esim. Leikola 1974, Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981, Lähde 1984). Ruotsissa on käytetty edullista maan vesitaloutta kuvaavaa tunnusta "liikkuva pintakerrosvesi". Sen esiintyminen yleistyy topografian muuttumisen vuoksi pohjoiseen päin mentäessä; maan kosteus ei kuitenkaan muutu alueittain systemaattisesti (esim. Hägglund ja Svensson 1982a,b).

Maaprofiilissa kosteus kasvukauden aikana yleensä pienenee alaspäin mentäessä, koska maan pakkautuneisuuden, orgaanisen aineksen vähyden ja usein myös karkean aineksen suuren osuuden vuoksi vedenpidätyskyky pienenee tässä suunnassa (esim. Heinonen 1957, Heiskanen 1988). Lähinnä huokoisuussuhteista johtuen aktuaalinen maaveden jännitys voi kuitenkin lievästi laskea syvyyden lisääntyessä, vaikka vesipitoisuus alenisikin. Kosteuden jakaantumiseen maaprofiilissa vaikuttavat maaperätekijöiden ohella luonnollisesti myös sääolot (sadanta, kyllästysvajausta) ja kasvillisuus (esim. Heikinheimo 1912, Halden 1926, Aaltonen 1928, Heiskanen 1988).

25. Puusto ja aluskasvillisuus

Latvuserros pidättää osan sateesta ja vähentää siten maahan imeytyvän veden määrää. Sateen määrän, rankkuuden ja kestojen lisääntyessä puustopidännän osuus vapaasta sadannasta pienenee. Havupuusto pidättää sadannasta yleensä enemmän kuin lehtipuusto. Sadannan ollessa vakio puuston määrän ja pohjapinta-alan kasvaessa metsikkösadannan osuus vähenee ja asettuu tietyn rajan jälkeen lähes vakiotasolle (esim. Päivänen 1966, Lee 1980, Pritchett ja Fisher 1987). Yleensä metsikkösadannan osuus vapaasta sadannasta on männiköissä 60-85 % (Heikinheimo 1912, Seppänen 1964, Päivänen 1966, Leikola 1971, Mälkönen 1974, Perttu ym. 1980), kuusikoissa 55-70 % (esim. Heikinheimo 1912, Päivä-

nen 1966, Kellomäki ja Pohjanpelto 1976) ja koivikoissa 60-90 % (esim. Päivänen 1966).

Runkovalunta on yleensä vähäistä. Männiköissä ja koivikoissa sen osuus on suurillakin sateilla alle 2 % vapaasta sadanasta. Kuusikoissa runkovalunta on häviävän pieni (esim. Päivänen 1966).

Vuoden kokonaissadannasta noin 30-50 % tulee lumena (esim. Kolkki 1969, vrt. Soveri 1985). Puusto voi pidättää lunta latvustoonsa lyhytaikaisesti varsin suuriakin määriä (20-30 mm vettä). Lumesta jää puihin yleensä suhteellisesti ottaen suurempi osa kuin vedestä. Puuston alla lumen paksuus on yleensä vähäisempi kuin aukealla. Harvahkossa metsässä lumen vesi-arvo voi kuitenkin olla suurempikuin aukealla. Lumipeitteen ohentuessa sen lämmöneristyskyky vastaavasti heikkenee, joten roudan syvyys on puuston alla suurempi kuin aukealla. Lumen ja roudan sulaminen keväällä lisää maan kosteutta sekä pinta- ja pintakerrosvaluntaa. Lumi sulaa vähäisemmän tulosäteilyn vuoksi metsässä hitaammin ja myöhemmin kuin aukealla (esim. Havas ja Kubin 1983, Kurimo ja Hovi 1984, Poikolainen ja Kubin 1985, Sovellettu hydrologia 1986).

Latvuspிடännän ohella puusto vähentää maan vesipitoisuutta myös ottamalla vettä transpiraatioon. Metsäpuumme käyttävät noin 300-500 kg vettä yhden kuiva-ainekilon tuottamiseen (Troedsson ja Nykvist 1973). Yleensä männikkö haihduttaa noin puolet kuusikon määrästä ja koivikko haihduttaa hieman enemmän kuin kuusikko (esim. Aaltonen 1920, 1940). Toisaalta puusto vähentää haihduntaa maanpinnasta varjostuksensa vuoksi (esim. Aaltonen 1940, Perttu ym. 1980).

Puusto ja aluskasvillisuus voivat vaikuttaa maan vesitalouteen muuttamalla maan fysikaalisia ominaisuuksia (esim. Troedsson 1965). Erityisesti karikkeiden ja humuksen määrä ja laatu riippuvat niistä muodostavista kasveista. Lehtikarrike maatuu yleensä nopeasti ja siitä syntyvän humuskerrok-

sen tiheys on suurempi kuin neulaskarikeesta syntyneen huumuksen (esim. Lähde 1966). Havupuut saavat aikaan lähinnä kangashumusta, lehtipuut taas edistävät mullaksen ja mullan muodostumista (esim. Aaltonen 1940). Varpukasvillisuuden tiheä juuristo ilmeisesti tiivistää maan pintakerroksia (Aaltonen 1940). Puuston juuristo lisää maaduttuaan maan karkeahuokosten määrää (esim. Aaltonen 1940, Pritchett ja Fisher 1987, Tate 1987). Aaltosen (1928) mukaan metsässä maan raekoostumus voi olla karkeampi kuin aukealla, koska metsä vähentää rapauttavien tekijöiden vaikutusta maaperään.

Metsämaan kosteus riippuu osaltaan puustosta. Mitä suurempi puuston määrä on tietyllä kasvupaikkatyypillä sitä suurempi on suhteellisesti ottaen maaveden jännitys sateettomina kausina isomman evapotranspiraation vuoksi. Tällöin myös pohjavesitaso on alempi kuin vähäisellä puustolla. Sateisina kausina taas latvuspäidäntä kohottaa maaveden jännitystä suhteessa aukeaan alaan (esim. Halden 1926, Perttu ym. 1980, Heiskanen 1988). Puulaji vaikuttaa maan vedenpidätyskykyyn (esim. Mahendrappa 1982). Samantyyppisillä mailla maan vedenpidätyskyky ja aktuaalinen vesipitoisuus on todettu lehtimetsässä suuremmaksi kuin kuusimetsässä (Troedsson 1965, Troedsson ja Nykvist 1973).

Sammalpeite pienentää maahan pääsevän sateen määrää ja vähentää myös tehokkaasti haihduntaa maasta (Aaltonen 1940, Troedsson 1955, Hoffmann 1968). Aaltosen (1940) mukaan ruoho- ja heinäkavillisuuden haihdutus taas kuivattaa maaperää. Lisäksi varpukasveista mustikka ja kanerva keväällä vähentävät maan kokonaishaiduntaa suhteessa aukeaan alaan ja kesällä taas lisäävät sitä. Parhaiten maan kosteuden säilyttää multa, jota peittää sammal- ja löyhä karikkekerros (Aaltonen 1940). Tiheä varpukasvillisuus voi pidättää vapaasta sadannasta varsin suuren osan (7-46 %) (Halden 1926, Päivänen 1966).

26. Maaeliöstö

Maamikrobit ja -eläimet muuttavat maan fysikaalisia ominaisuuksia ja vaikuttavat siten myös maan vesitalouteen. Maaeliöstö vaikuttaa maan rakenteeseen hajottamalla kariketta ja sekoittamalla orgaanista ainesta ja kivennäismaata keskenään sekä edistämällä mururakenteen muodostumista. Hieno- huokosten määrän kasvamisen vuoksi vedenpidätyskyky (lähinnä käyttökelpoisen veden alueella) muruissa lisääntyy, toisaalta murujen väliset karkeahuokokset parantavat maan tuule- tusta (esim. Aaltonen 1940, Troedsson ja Nykvist 1973). Metsämaamme ovat pääosin melko karkeita ja karuja, joten maan mururakenteen esiintyminen rajoittuu viljavimmille kan- gasmaille.

3. MAAN VESITALOUS JA KASVUPAIKAN VILJAVUUS

31. Vesi kasvutekijänä

311. Kasvien vedentarve

Vesi on kasveille fysiologisesti yksi tärkeimmistä elintoi- mintoja ja kasvua ylläpitävistä aineista. Vesi on fotosyn- teesin lähtöaine ja se on myös ehdoton edellytys hiilidiok- sin saatavuudelle. Yhteyttämiselle välttämätön kaasunvaihto edellyttää vettä kasvisolujen turgoripaineen ylläpitämiseksi ja ilmarakojen pysymiseksi auki. Toisaalta kaasunvaihto (eli transpiraatio) kuluttaa vettä huomattavasti enemmän kuin itse fotosynteesi. Vain pieni osa kasvin ottamasta ve- destä kuluu biomassan rakentamiseen (kulutus noin 10^3 - 10^4 kg/tuotettu kuiva-aine kg). Vedenpuute johtaa siten suo- rasti ja epäsuorasti fotosynteesin heikkenemiseen ja respi- raation vähenemiseen (esim. Larcher 1980, Smolander 1982, Boyer 1985).

Ravinteiden saatavuus maasta riippuu osaltaan vedestä. Ravinteet kulkeutuvat maassa kasvien juuria kohden massavirtauksen ja diffuusion välityksellä. Nämä ilmiöt riippuvat maan vesitilanteesta. Siten kuivuus voi aiheuttaa kasveissa välillisesti ravinteiden puutosta ja kasvuhäiriöitä. Myös kasvien elintoimintoihin kuuluvat monet biokemialliset reaktiot vaativat tapahtuakseen solussa riittävän turgoripaineen (esim. Kramer ja Kozlowski 1979).

312. Kasvien vedenotto

Vesi virtaa juureen lähinnä epidermin juurikarvojen kautta, josta vesi kulkeutuu ksyleemiin ja edelleen kasvin maanpäällisiin osiin. Kasvit, joilla on mykoritsa, ottavat vettä pääasiassa mykoritsan välityksellä. Parenkyymisolujen seinämillä on tietty vähäinen vastus vesimolekyylien ja ravinneionien kulkua vastaan. Usein juuren kuoressa esiintyy myös soluvälejä ja huokosia, joiden kautta tapahtuu vapaata diffuntoitumista (esim. Kramer ja Kozlowski 1979, Pyykkö 1980, Boyer 1985). Siten juuriston laajuus, syvyys, tiheys, jakaantuminen ja kasvukyky vaikuttavat juurten ulottuvissa olevaan maatilavuuteen ja sitä kautta absorboituvan veden määrään.

Vesi liikkuu alhaisemman potentiaalitason suuntaan. Jos juurisolun vesipotentiaali on alhaisempi kuin maanesteen, gradientti on kohti juurisolua. Kasvit pystyvät tietyissä rajoissa sopeutumaan osmoosin avulla veden saatavuuteen. Jos solu alkaa kärsiä vedenpuutteesta, turgoripaine alenee, solunesteen väkevöityminen alentaa potentiaalia ja veden liikegradientti lisääntyy kohti solua. Kasvavien solujen vesipotentiaalin tulisi olla noin 1-1,5 bar alempi kuin ympäröivän liuoksen, jotta veden virtauksen vaatima gradientti syntyisi (esim. Hillel 1980, Kramer 1983, Boyer 1985).

Kasvin fysiologisten ominaisuuksien ohella vedenottoon vaikuttavat monet eri tekijät maassa. Maan lämpötilan alentuminen vähentää veden liikkuvuutta, koska sen viskositeetti lisääntyy. Myös soluseinien ja protoplasman läpäisevyys vesimolekyyleille vähenee. Alhaiset lämpötilat heikentävät lisäksi metaboliaa ja juurten kasvu vähenee. Näiden tekijöiden vuoksi alhaisissa lämpötiloissa veden absorpoituminen juuriin on vähäistä (esim. Devlin ja Witham 1983, Söderström 1976).

Happi on juurten metabolialle ja kasvulle olennainen tekijä. Maan tiiviys (pakkautuneisuus, hieno tekstuuri) ja suuri vesipitoisuus voivat rajoittaa maan ilmatilaa niin (noin <10 %:iin), että juurten toiminta ja kasvu estyvät. Liiallinen kosteus voi siten lakastuttaa kasvin, vaikka vettä onkin maassa runsaasti. Maan anaerobisuus rajoittaa erityisesti männyn ja kuusen taimien juuriston kehitystä, mutta hieskoivun osalta vaikutus ei ilmeisesti ole selvä (esim. Huikari 1959, Kozłowski 1986). Maan huono ilmavuus voi kohottaa myös hiilidioksidipitoisuutta. Korkea hiilidioksidipitoisuus nostaa protoplasman viskositeettia ja juurten vastus vesimolekyyleille kasvaa (esim. Devlin ja Witham 1983).

Maan suolapitoisuuden ollessa suuri saattaa osmoottinen potentiaaligradientti muodostua periaatteessa jopa kasvusta maahan. Luonnontilaisissa kangasmaissamme osmoottisen potentiaalimerkitys on yleensä vähäinen, koska lähinnä vain aridisilla alueilla maan suolapitoisuus vaikuttaa kasvillisuuden menestymiseen (esim. Hartge 1978, Devlin ja Witham 1983).

Maahiukkasten pinnoille adsorpoitunut vesi on sitä tiukemmin sitoutunut, mitä ohuempi vesikerros hiukkasia ympäröi (esim. Richards 1961, Hartge 1978). Kasvit saavat hyvin vettä, kun maahiukkasia ympäröivän vesikalvon paksuus on noin 6-20 molekyylikerrosta. Maan kuivussa veden liikkuvuus vähenee ja on hyvin rajoittunutta, kun vesikalvo on enää muutaman mole-

kyylikerroksen paksuinen (esim. Marshall 1959, Hartge 1978). Kun maan kosteus on määrällisesti niin suuri, että se ylläpitää kasvien kasvua, vesi kulkeutuu yleensä muutaman millimetrin matkan juuren ympäriltä (Hainsworth ja Aylmore 1986).

Maassa veden liikkuminen kaasumaisena on yleensä merkityksetöntä, koska käyttökelpoisen veden alueella vesihöyrynpaineen erot ovat pieniä, eikä potentiaaligradienttia siten juuri synny. Maan ilmatilan suhteellinen kosteus on yleensä 99-100 %, mikä vastaa kasvisolukoiden sisäisen ilmatilan kosteutta. Toisaalta maakerrosten väliset vertikaaliset lämpötilaerot aiheuttavat ilmavirtauksen, jonka suunta on lämpimästä viileään (esim. Marshall 1959, Hillel 1971, Marshall ja Holmes 1979).

Kasvit voivat ottaa vettä vähäisessä määrin myös maanpäällisillä osillaan. Tällä tavoin saatavan veden määrä riippuu lehtien vesipotentiaalista ja kutikulan läpäisevyydestä (esim. Devlin ja Witham 1983).

313. Vesi ja kasvituotos

Kasvibiomassan tuotantoon vaikuttavista kasvutekijöistä vesi on merkittävimpiä (esim. Visser 1963). Kasvu on solujen laajentumista ja jakaantumista. Solujen kasvusta suurin osa on vesipitoisuuden lisääntymistä. Vedenpuutteessa solujen laajentuminen estyy ja solujen jakaantuminen sekä soluseinän plastisuus vähenevät. Heikentynyt plastisuus myös viivästyttää kasvun alkamista silloin, kun vettä on kuivuuden jälkeen taas riittävästi saatavilla. Mahdollisesti myös mekaanisen vastuksen lisääntyminen maan kuivuessa heikentää juurten kasvua. Vedenpuute alentaa vastaavasti myös verson solujen turgoripainetta ja kasvua (esim. Black 1968, Kozlowski 1968).

Veden liikkuvuus vähenee maan kuivuessa, koska maaveden jännitys nousee. Siten maan vesipitoisuuden väheneminen optimitasolta alentaa kasvien potentiaalista kasvua, koska vedentarve ei tule tyydytetyksi tarpeeksi nopeasti. Kenttäkapasiteetin ja lakastumisrajan välillä veden saatavuuden lisääntyminen parantaa kasvien kasvunopeutta ja kokonaistuo-
tosta (esim. Black 1968). Suomessa on todettu esim. viljojen ja heinäkasvien jyvä- sekä olkisadon lisääntyvän kesä-heinä-
kuun sademäärän lisääntyessä. Maamme etelä- ja lounais- sekä länsiosissa kevätkuivuus rajoittaa peltokasvien tuotosta. Alkukesän sadanta jää keskimäärin selvästi pienemmäksi kuin mitä kasvit voisivat ko. aikana haihduttaa. Kuitenkin ylenmääräinen vesi heikentää kasvituotoksen määrää ja laatua (esim. Wäre 1947, Pessi 1960, Kolkki ym. 1970, Seuna 1977).

Metsäpuiden kasvun riippuvuutta veden saatavuudesta on tut-
kittu jonkin verran (esim. Gaertner 1963, Greutziner ja Ostrowski 1968, Helliwell 1982b). Lehtipuiden taimilla maan kuivumisen on todettu tietyn rajan jälkeen johtavan lähes lineaariseen transpiraation ja pituuskasvun heikkenemiseen (esim. Polster 1963, Kotisaari 1981). Kuivassa maassa puun maanpäällisten osien ja juuriston biomassojen suhde on yleensä keskimäärin alempi kuin kosteammassa maassa (esim. Ladefoged 1956, Black 1968, Kozłowski 1968). Kuivilla kas-
vupaikoilla männyn neulasten vesipotentiaali laskee luon-
nossa ajoittain alle -15 bar:n, jolloin ilmaraoit sulkeutuvat ja fotosynteesi ja kasvu estyvät. Useiden kastelukokeiden (Brantseg 1962, Aronsson ym. 1977, Bengtson 1980, Hellkvist ym. 1980, Axelsson 1981, Hillerdal-Hagströmer ym. 1982, Lipas 1985) avulla on todettu, että kuivilla kankailla männyn kasvu lisääntyy veden saatavuuden parantuessa. Tällöin neulasbiomassan ja rungon kasvu lisääntyvät, mutta juurten kasvu suhteellisesti ottaen vähenee.

Veden saatavuus vaikuttaa myös puun laatuun. Sieni- ja hyön-
teistuhot voivat saada alkunsa vedenpuutteen aiheuttamasta

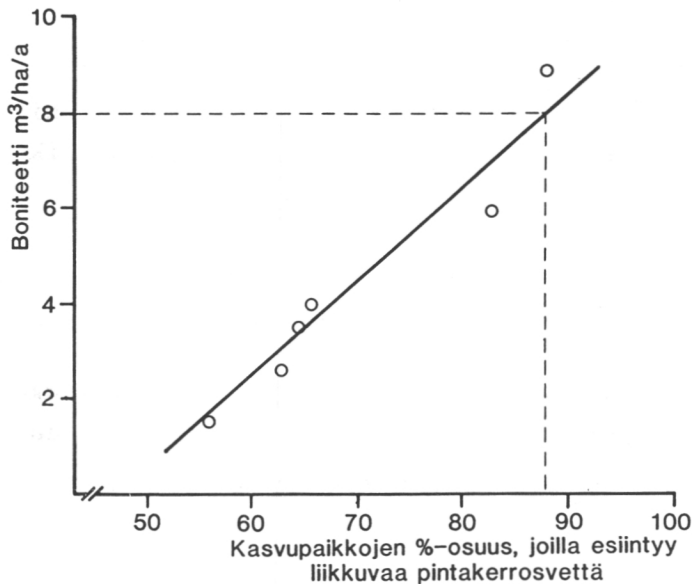
elinvoimaisuuden heikentymisestä (esim. Kozlowski 1968). Kuivuudessa puuaineen kesäpuuosuus suhteellisesti ottaen vähenee verrattuna tilanteeseen, jossa vettä on riittävästi saatavilla (esim. Kellomäki 1979). Tällöin puuaineen tiheys jää alhaiseksi. Esim. männyn tiheys pääpiirteittäin lisääntyy heinäkuun sadannan ja haihdunnan eron sekä vuoden kokonaissadannan kasvaessa (Kellomäki 1979).

32. Vesitalous ja kasvupaikkatyyppi

Maan vesitalous kuuluu ns. primaarisiin kasvupaikkatekijöihin, jotka määräävät kasvupaikan boniteetin ja vaikuttavat metsätyyppiteorian mukaan metsätyyppin syntyyn (esim. Cajander 1949, Nieppola 1986). Tosin kasvillisuustekijöillä (ns. sekundaariset kasvupaikkatekijät) on myös vaikutusta maan vesitalouteen (ks. luku 25.). Pohjavedenpinnan nousun on todettu parantavan metsän kasvua erityisesti karuilla mailla (esim. Pritchett ja Fisher 1987). Topografian mukaan vaihtelevat maan hydrologiset olot johtavat erilaisten kasviyhdyksuntien ja metsätyyppien muodostumiseen eri osiin rinteitä (esim. Rajakorpi 1984, Koistinen 1985, Mikkola ja Sepponen 1986). Rinteessä liikkuva maavesi parantaa maan vesija ravinnetaloutta sekä lisää maaveden happipitoisuutta (Troedsson 1965, Hägglund ja Lundmark 1977).

Rinteen yläosissa ja etelä-länsipuolella maan pintakerrosten vesipitoisuus on alhaisempi kuin alempana ja rinteen pohjoispuolella. Lisäksi liikkuvan maaveden esiintyminen on rinteen yläosissa vähäistä. Siten suotuisa vesitalous aiheuttaa edullisten lämpöolojen rinnalla rehevämmän kasvillisuustyyppin muodostumisen rinteen alaosiin. Erityisesti katajan (*Juniperus communis* L.) esiintyminen voi indikoida maaperän hyvää vesitaloutta (Rajakorpi 1984). Liikkuva maavesi edistää myös puuston kasvua. Maan vesipitoisuuden ollessa vakiotasolla maaveden liikkuvuus nostaa metsämaan tuotoskykyä (H_{100}) suhteellisesti ottaen sitä enemmän mitä karumpi metsätyyppi on kyseessä. Mitä suurempi maan vesipi-

toisuus toisaalta on sitä suurempi vaikutus liikkuvan maaveden esiintymisellä on maan tuotoskykyyn (Hägglund ja Lundmark 1977). Ruotsissa on todettu, että liikkuvan pintakerrosveden esiintymisen ja kasvupaikan viljavuuden välillä on selvä positiivinen korrelaatio (kuva 3) (Troedsson 1965, Troedsson ja Nykvist 1973). Tästä syystä Ruotsissa käytetään metsämaiden luokituksessa lähinnä topografian ja pohjavesitason perusteella määritettyjä maaveden liikkuvuus- ja maan kosteusluokkia (esim. Hägglund ja Svensson 1982a,b).



Kuva 3. Liikkuvan pintakerrosveden esiintymistaajuuden ja boniteetin välinen riippuvuus (Troedsson ja Nykvist 1973).

Etelä-Suomessa moreenimaan vedenpidätyskyky on yleensä riittävä (Viro 1947) (ks. luku 24.). Karummilla, lajittuneilla mäntykankailla sen sijaan viljavuuden ja lähinnä pohjamaan (60-100 cm) vedenpidätyskyvyn välillä on vahva positiivinen korrelaatio, joka vallitsee myös Pohjois-Suomessa

(Viro 1962). Heiskasen (1988) mukaan viljavuuden ja maan vedenpidätyskyvyn välillä on merkitsevä vuorosuhde. Saman tutkimuksen mukaan kivennäismaakerrosten vedenpidätyskyvyn korreloituminen viljavuuden kanssa paranee syvyyden kasvaessa lähes vastaavasti kuin Viron (1947) aineistossa. Kuitenkin maan viljavuus korreloi merkitsevimmin humuskerroksen vedenpidätyskyvyn kanssa. On huomattava, että erityisesti humuskerroksen vedenpidätysominaisuudet saattavat korreloida ravinteisuuden, viljavuuden ja puuston ominaisuuksien kanssa (multikollineaarisuus), joten ei ole varmaa vallitseeko vedenpidätyskyvyn ja kasvupaikan viljavuuden välillä suora kausaalisuhte. Puolassa on myös todettu vastaavuus maan vedenpidätyskyvyn (erityisesti hyötykapasiteetin) ja metsätyypin välillä (Krol 1979).

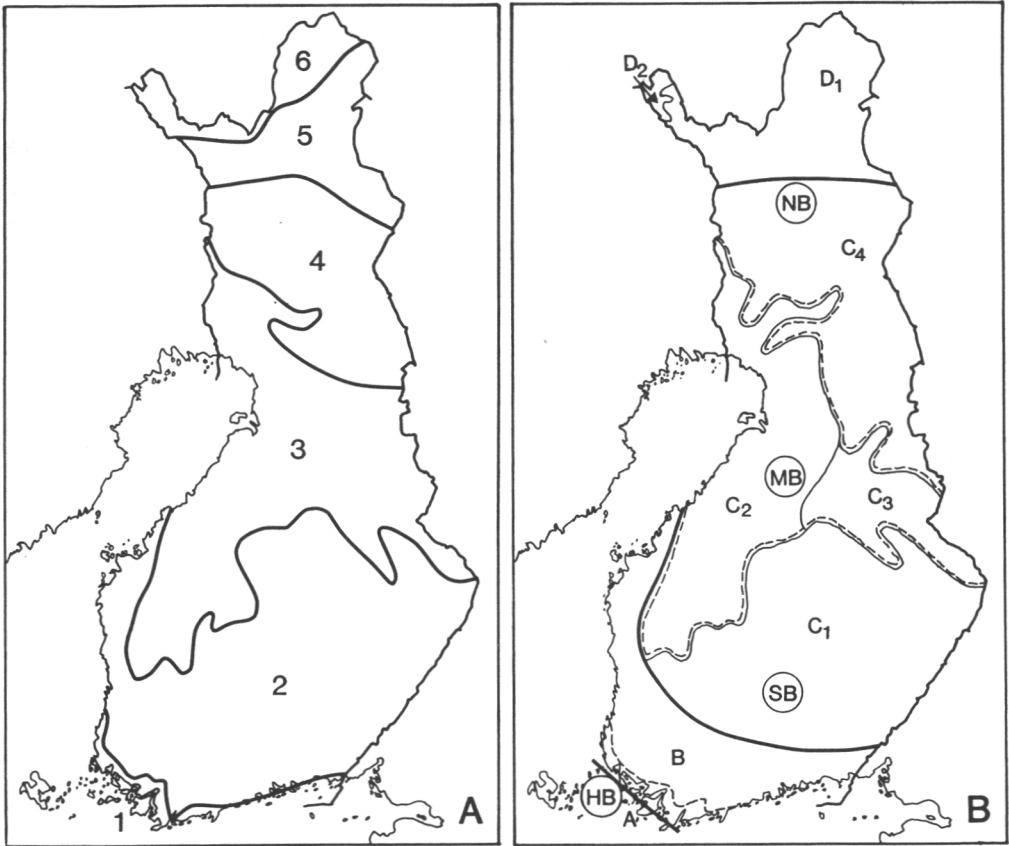
Maan aktuaalista vesipitoisuutta eri kasvupaikkatyypeillä ei ole laajemmin selvitetty (Mahendrappa 1982). Ruotsissa on samantyyppisillä mailla todettu maan vesipitoisuuden olevan suuremman lehtimetsän kuin kuusimetsän alla (Troedsson 1965) (ks. luku 25.). Heiskasen (1988) tutkimissa maissa keskimääräinen vesipitoisuus (tilav.-%) pääpiirteittäin väheni siirryttäessä karummille metsätyypeille. On ilmeistä, että maaveden jännitys selittyy maaperätekijöitä paremmin sää- ja kasvillisuustekijöiden perusteella (Perttu ym. 1980, Heiskanen 1988).

Kasvupaikan vesitalous riippuu maan ominaisuuksien lisäksi ratkaisevasti ilmasto- ja säätekijöistä (ks. luku 22.). Korpilahden (1988) mukaan kasvukauden kuivien sääjaksojen aikana männyn yhteyttämistuotos vähenee selvästi. Vuosilustoindeksien avulla touko-heinäkuun sadantasumma on todettu merkitseväksi männyn kasvulle Etelä-Suomessa (Henttonen 1984). Karuimmilla ja kuivimmilla kasvupaikoilla tämä positiivinen vuorosuhde on erittäin merkitsevä. Pohjois-Suomessa em. vaikutus ei ilmeisesti ole yhtä suoraviivainen. Kuuselle ominaisilla kasvupaikoilla sadannan vaihteluilla ei ilmeisesti ole yleensä olennaista vaikutusta kuusen kasvuun.

On huomattava, että veden saatavuuteen vaikuttaa osaltaan myös puusto (ks. luku 25.). Kasvupaikan viljavuuden ja puuston määrän lisääntyessä evapotranspiraatio ja interseptio kasvavat sekä pohjavesitaso alenee. Tällöin maaveden jännitys voi ajoittain olla karuilla kasvupaikoilla jopa pienempi kuin viljavilla (esim. Perttu ym. 1980, Heiskanen 1988, vrt. Thöle ym. 1985).

Maan vesitalouden suhdetta kasvupaikkatyyppeihin ja metsäkasvillisuusvyöhykkeisiin on tutkittu alueittain lähinnä vain ilmaston perusteella (Solantie 1974, 1980, 1982, Solantie ja Ekholm 1985). Merkitsevin kosteusoloja kuvaava ilmastotekijä on ilmeisesti heinäkuun keskimääräinen haihdunnan ja sadannan erotus. Heinäkuussa maa on yleensä kuivimmillaan, jolloin veden vähyys rajoittaa eniten kasvien kasvua kasvukauden aikana. Tämä haihdunnan ja sadannan erotuksen keskimääräinen nollassa noudattaa melko tarkoin eteläisen ja pohjoisen metsäkasvillisuusvyöhykkeen rajaa (Solantie 1974). Tämän rajan pohjoispuolella ilmasto on humidinen (haihdunta < sadanta) (kuva 4). Sen perusteella, ylittääkö haihdunta sadannan ja kuinka pitkäksi ajanjaksoksi, voidaan metsäkasvillisuusvyöhykkeet erottaa toisistaan hydrologisin perustein (Solantie 1980).

Etelä-Suomen metsäkasvillisuusvyöhykkeessä kuivuus rajoittaa puuston kasvua karuilla mailla. Pohjoiseen mentäessä humidiisuus lisääntyy ja Perä-Pohjolan ja Lapin vyöhykkeissä sadanta ylittää haihdunnan yleensä joka kesäkuukausi (Solantie 1982). Siten vedenpuute ei enää rajoita metsien kasvua. Sen sijaan liiallinen kosteus voi Pohjois-Suomen tuoreilla kankailla (HMT) haitata metsien kasvua (esim. Havas ja Kubin 1983, Lähde 1984, Keskitalo ja Sepponen 1986). Kangasmetisien suhteellinen tilavuuskasvu eri metsälautakuntien alueilla alenee Uudenmaa-Hämeen 100:sta Lapin 39:ään (Koivisto 1970, Vuokila 1980). Boniteetin muuttumiseen vaikuttaa luonnollisesti kasvupaikan vesitalouden ohella ennen kaikkea sen lämpötilous.



Kuva 4. (A) Metsäkasvillisuusvyöhykkeet A. Kalelan mukaan (Koivisto 1970) sekä (B) Suomen hydrologiset vyöhykkeet ja kasvillisuusvyöhykkeet (Solantie ja Ekholm 1985). Merkkien selitys:

- | | |
|---------------------|---|
| A: 1 Saaristo-Suomi | B: Kasvillisuusvyöhykkeet (katkoviiva), |
| 2 Etelä-Suomi | HB Hemiboreaalin |
| 3 Pohjanmaa-Kainuu | SB Eteläboreaalin |
| 4 Perä-Pohjola | MB Keskiporeaalin |
| 5 Metsä-Lappi | NB Pohjoisboreaalin |
| 6 Tunturi-Lappi | Hydrologiset vyöhykkeet (paksu viiva) ja alueet (ohut viiva), |
| | C1 Järvalue C2 Itä-Pohjanmaa |
| | C3 Maanselkä C4 Pohjois-Pohjanmaa |

4. METSÄNHOITO JA KANGASMAIDEN VESITALOUS

41. Metsänhoidon vaikutus maan vesitalouteen

411. Hakkuut

Hakkuiden seurauksena pohjavedenpinta nousee, maan vesipitoisuus sekä valunta lisääntyvät ja maaveden jännitys alenee. Rinnemailla pintavalunnan lisääntyminen saattaa johtaa eroosioon. Nämä muutokset johtuvat puuston haihdunnan ja latvuspidännän supistumisesta sekä lumen syvyyden lisääntymisestä hakatussa metsässä. Vesitalouden muutokset ovat suhteessa hakkuiden voimakkuuteen. Metsikön kehitysvaihe ja puulajisuhteet vaikuttavat puustopidännän vähenemiseen siten, että varttuneissa havumetsissä aleneminen on suurempaa kuin taimikoissa ja lehtimetsissä (esim. Heikurainen ja Päivänen 1970, Douglass ja Swank 1975, Eschner ja Mader 1975, Lundin 1979, Päivänen 1980a,b, 1982a, Mraz 1981, Seuna 1985)

Hakkuiden seurauksena evaporaatio lisääntyy, vaikka evapotranspiraatio väheneekin. Tämä johtuu maan vesipitoisuuden noususta, tuulen voimistumisesta ja auringon säteilyn lisääntymisestä hakkuualalla (esim. Odin 1974, 1976). Lisääntynyt kosteus ja lämpötila edistävät aluskasvillisuuden kehitystä, mikä lisää haihduntaa ja saattaa nostaa evapotranspiraation melko pian hakkuuta edeltäneelle tasolle. Kohonnut pohjavesitaso saattaa tiiviillä kangasmailla johtaa suokasvien lisääntymiseen ja jonkinasteiseen soistumiseen (esim. Troedsson ja Utbult 1974, Päivänen 1982a).

Yleensä hakkuun jälkeen edulliset lämpö- ja kosteusolot edistävät karikkeen maatumista (esim. Helliwell 1982a, Kurimo ym. 1985). Hakkuutähteet lisäävät myös hajoavan aineksen määrää ja pienentävät maahan pääsevän sadannan osuutta. Tällöin on mahdollista, että maan pintakerrosten vedenpidätyskyky muuttuu. Tutkimuksia hakkuiden vaikutuksista maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ei juuri ole. Hakkuutähteiden

korjuulla avohakkuualalta ei Rosénin (1984) mukaan ole olennaista merkitystä alueen valuntaan.

412. Koneiden käyttö

Metsänhoitotöissä käytettävät koneet ja laitteet aiheuttavat pintapaineen maanpintaa vasten, jolloin maanpinta painuu ja kuluu. Maaperä tiivistyy ja seurauksena on karkeahuokosten osuuden, ilman vaihtuvuuden, veden infiltraation vähentyminen ja mahdollisen mururakenteen hajoaminen sekä maan sitkeyden ja kovuuden lisääntyminen (esim. Eriksson 1982, Pritchett ja Fisher 1987). Tiivistyminen on paineen suuruuden ohella riippuvainen maan alkuperäisestä huokoisuudesta, raekoostumuksesta, rakeiden pinnan tasaisuudesta, vesipitoisuudesta ja orgaanisen aineksen määrästä (esim. Wästerlund 1985). Tiivistyminen lisääntyy kosteuden funktiona; tietyn maksimitason jälkeen tiheys kuitenkin vähenee, koska maa alkaa turvota (esim. Marshall ja Holmes 1979, Hillel 1982).

Koneellisen juonnon yhteydessä hiekkamaan tiheys voi paikallisesti kasvaa n. 5-10 % (Mace 1970, 1971) ja hienoaineksien moreenin tiheys voi lisääntyä jopa yli 40 % (Wästerlund 1985). Karkeahuokosten osuuden väheneminen maan pakkautumisen seurauksena heikentää vedenpidätyskykyä alhaisilla maaveden jännitysarvoilla. Kyllästyskosteudessa vedenpidätyskyky vähenee huomattavasti. Savimailla kyllästysvesipitoisuuden vähentyminen maan pakkautuessa voi olla suhteellisesti ottaen jopa kolme kertaa suurempi verrattuna karkeampiin maihin (Hager ja Sieghardt 1984). Huokoisuussuhteiden muuttumisen vuoksi maan kosteus voi lisääntyä, jos evaporaatio vähenee ja vedenpidätyskyky suurehkoilla jännitysarvoilla kasvaa (esim. Scheffer ja Schachtschabel 1976, Olsson 1977, Heinonen 1985). Karkeahuokosten osuuden väheneminen ja huokosten epäyhtenäisyyden lisääntyminen heikentää maan ilmavuutta. Tiiviillä, hienojakoisilla mailla veden saataavuus voi suurehkoilla jännitysarvoilla rajoittaa kasvien kasvua. Myös maan lisääntynyt mekaaninen vastus heikentää

juurten kasvua (esim. Smolander ym. 1981, Eriksson 1982, Hildebrand 1983, Heinonen 1985). Kuusi on herkempi maan pakkautumiselle tässä suhteessa kuin mänty (esim. Wästerlund 1985).

Metsäkoneet kuluttavat myös kasvupaikan pohja- ja kenttäkerroksen kasvillisuutta. Kasvupaikan viljavuuden lisääntyessä kulutuskestävyys yleensä paranee (esim. Kellomäki 1973, 1977, Lundmark 1986). Viljavilla mailla myös maan tiivistymisen haitallinen vaikutus juurten kehitykseen on suhteellisesti ottaen pienempi kuin karuilla mailla (Repshas ja Pailshkis 1983, Wästerlund 1985). Kasvillisuuden tallautuminen ja kuluminen voivat vähentää veden infiltraatiota ja lisätä pintavaluntaa ja eroosiota (ks. luvut 241. ja 25.). Tarkempia selvityksiä asiasta ei meillä ole. Vaikka routautuminen muokkaakin maata ja siten lieventää tiivistymisen aiheuttamia haittoja, maaperän ja kasvillisuuden elpyminen pakkautumisen jälkeen kestää ilmeisesti ainakin muutamia, jopa kymmeniä vuosia (Mace 1971, Olsson 1977).

413. Maanmuokkaus ja kulotus

Maanmuokkauksen yhtenä tavoitteena on parantaa maan vesitaloutta metsän uudistamisen turvaamiseksi sekä mahdollisimman pitkäaikaisen maanparannuksen saavuttamiseksi. Laikutus on ensisijassa sopivan itämisalustan valmistusta helposti vettäläpäisevillä mailla. Lautasaurauksessa muodostetaan vakoja, joihin veden kertyminen on vähäisempää kuin laikkuihin. Metsäaurauksen tarkoituksena on johtaa pintavettä pois uudistusosalta ja muodostaa kohoutumia, joissa maan lämpö- ja kosteusolot ovat metsänuudistumiselle suotuisia (esim. Mälkönen 1972). Varsinaista kuivatusta ojittamalla käytetään kangasmailla hyvin rajoitetusti. Turvemaidilla ojituksella pyritään alentamaan pohjavesitasoa ja saavuttamaan optimikosteus (n. pF 2,2) (esim. Heikurainen ja Joensuu 1981, Kurimo ym. 1985, Seuna 1985).

Muokkausjäljessä, jossa humuskerros on sekoittunut kivennäismaahan tai kivennäismaata on noussut humuskerroksen päälle kohoutumiksi (palteet ja mättäät), maa on kuohkeampaa ja sen tiheys alhaisempi kuin auraspienareessa, laikussa ja muokkaamattoman alan humuskerroksen alla (esim. Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981). Palteet ja mättäät ovat kasvukauden aikana kuivempia kuin muut muokkausjäljet tai muokkaamaton maa (esim. Mälkönen 1976, Söderström 1976). Kohoutumisissa maaveden jännitys on siten keskimäärin korkeampi kuin muissa muokkausjäljissä tai muokkaamattomassa maassa. Maaveden jännitys myös vaihtelee tällöin suuresti (esim. Söderström 1974, 1975, 1976, 1977, Mälkönen 1976).

Maan kuivuus ei yleensä rajoita metsänuudistumista. Vastahakatuilla uudistusaloilla maan vesipitoisuus on melko suuri ja maaveden jännitys yleensä alle optimitason (ks. luku 411.). Erityisesti tiiviillä, tuoreilla mailla maan heikko tuuletus ja alhainen happipitoisuus ovat tällöin kasvua rajoittavia tekijöitä. Optimikosteus, jossa maan vesi- ja happitaloutta voidaan pitää suotuisina, on hiekkamaassa noin pF 2 ja moreenimaassa noin pF 2,3 - 2,5 (esim. Söderström 1974, 1976).

Metsänuudistumistulos riippuu usein enemmän maan lämpötilasta kuin vesipitoisuudesta. Lämpötila vaikuttaa myös vedenottoon alentamalla suoranaisesti veden viskositeettia ja juurisolujen vedenläpäisevyyttä sekä välillisesti nopeuttamalla juuriston kehitystä, jolloin laajemman maatilavuuden sisältämä vesimäärä on taimien käytettävissä (esim. Söderström 1976). Söderströmin (esim. 1976) mukaan kuusen taimille maan optimilämpötila on noin 20 °C ja männyn peräti noin 30 °C. Varsinkaan pohjoisessa tätä männyn lämpötilaoptimia ei yleensä saavuteta voimaperäisenkään muokkauksen avulla. Taimien elossaolo ja kasvu noudattavatkin melko hyvin maan lämpötilan kehitystä (esim. Leikola 1974, Söderström 1975), mikä selittynee juuriston voimakkaasta ke-

hittymisestä lämpimässä ja kuivahkossa maassa (ks. luku 313.).

Tuoreilla kasvupaikoilla maanmuokkauksen avulla tulee pyrkiä muodostamaan kohoutumia, joissa maan lämpötila ja happipitoisuus ovat riittävän korkeita ja vesipitoisuus riittävän alhainen. Erityisesti Pohjois-Suomen tuoreilla kangasmailla kosteus, siitä johtuva maan heikko tuuletus ja alhainen lämpötila heikentävät uudistumistulosta, eikä tehokaskaan muokkaus yleensä kuivata maata liikaa (esim. Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981, vrt. Koivisto 1976, Kivisaari 1983, 1984, Laiho 1985). Tosin kuivina kesinä mikrotopografialtaan korkeimmat viljelykohdat voivat olla liian kuivia ($> pF\ 3$) taimien kannalta (esim. Söderström 1974, Mälkönen 1976). Pohjois-Suomessakin maan vesipitoisuus voi uudistusalueella laskea joskus alle lakastumisrajan ($pF\ 4,2$) (esim. Lähde 1978). Kuivilla kasvupaikoilla, joilla maan vedenläpäisevyys on suuri ja ravinteita niukasti, muokkauksesta saatava hyöty rajoittuukin yleensä vain viljelytyön helpottumiseen (esim. Mälkönen 1983, Laiho 1985).

Maanmuokkaus voi aiheuttaa myös suoranaisia haittavaikutuksia maan vesitalouden muutosten kautta. Ruotsissa ns. liikuvan pintakerrosveden kuivattamisen on arveltu heikentävän kasvupaikan boniteettia (Troedsson ja Utbult 1972). Erityisen haitallisesti vaikuttaisi tällaisilla kasvupaikoilla veden virtaussuunnan mukaisesti tehty auraus. Maan tuotoskyvyn heikentyminen kuivatuksen vuoksi olisi kuitenkin sitä vähäisempää mitä pohjoisemmaksi ja korkeammalle siirrytään (Troedsson ja Utbult 1972). Rinteillä kaltevuuden mukaiset aurausvaot lisäävät myös eroosiota. Meillä eroosiovaara on suurin Pohjois-Suomen hienolajitteisilla ja kaltevilla mailla (esim. Kellomäki 1972, Pirola 1978, Ferm ja Sepponen 1981).

Uudistusalueella runsaasti ravinteita sisältävät hakkuutähteet sekä lisääntynyt maan kosteus ja lämpötila edistävät hajotustoimintaa ja ravinteiden mineralisaatiota. Tällöin eri-

tyisesti viettävillä ja vedenläpäisykyvyltään heikoilla mailla valunnan ja eroosion mahdollinen lisääntyminen voi kasvattaa ravinteiden huuhtoutumista ja vesistöjen kuormittumisriskiä. Metsänhoidossa ja tutkimuksessa tulisi siten kiinnittää huomiota vesitaloustehtäviin myös ravinteiden huuhtoutumisen kannalta (Metsä- ja turvetalouden... 1988).

Kulotuksessa palaa aluskasvillisuus, pääosa hakkuutähteistä ja osa humuskerrosta. Tällöin evaporaatio ja valunta saattavat lisääntyä ja veden sitoutuminen maaprofiiliin vastavasti vähentyä. Muutokset vesi- sekä ravinnetaloudessa voivat olla erityisen haitallisia, jos koko humuskerros on palanut kulotettaessa liian karulla maalla. Kulotuksen jälkeen multautumiskerros (F) on kuivempi, mutta toisaalta humusainekerros (H) on kosteampi ns. hikoamiskerroksen vuoksi kuin ennen kulotusta. Lisäksi humuskerroksen laatu muuttuu ravinne-, vesi- ja lämpöolojen myötä. Maatumisen vilkastuu ja humus saa jopa mullankaltaista rakennetta (esim. Hesselman 1937, Ugglä 1957, Viro 1969, Vasander ja Lindholm 1985). Tämä saattaa vaikuttaa humuskerroksen vedenpidätyskykyyn. Kulotuksen vaikutuksia maan fysikaalisiin ominaisuuksiin on selvitetty niukasti. Hakkuutähteiden korjuu voi ekologisesti herkillä kasvupaikoilla heikentää maan vesitaloutta (Juutinen ym. 1979).

414. Lannoitus

Lannoituksen vaikutusta maan vesitalouteen on tutkittu meillä lähinnä turvemaidella. Tutkimusten mukaan lannoitus alentaa pohjavedenpintaa (1-30 cm) ja maan vesipitoisuutta. Tämä johtuu latvuston ja aluskasvillisuuden biomassan lisääntymisestä, jolloin latvuspidäntä ja transpiraatio suurenevät (esim. Heikurainen ja Päivänen 1970, Päivänen 1980a, Sovellettu hydrologia 1986). Eräiden tutkimuksien mukaan lannoitus ei kuitenkaan vaikuta pohjavesitasoon (esim. Päivänen 1980b, 1982a). Ruotsissa kangasmaalla tehdysä tutkimuksessa ei ole voitu todeta lannoituksen vaikut-

taneen maan vesivarastoon (Lundin 1979). Lannoituksen vaikutuksesta valuntaan ei em. tutkimuksien perusteella voida tehdä kvantitatiivisia yleistyksiä (Sallantaus 1986).

Lannoitus voi kohottaa maanesteen osmoottista jännitystä, se ei kuitenkaan eräiden ulkomaisten tutkimusten mukaan vaikuta merkittävästi maaveden kokonaisjännitykseen (esim. Eschner ja Mader 1975, Hillerdal-Hagströmer ym. 1982, Brix ja Mitchell 1986). Transpiraatio ei ollut männyllä sanottavasti kasvanut lannoituksen seurauksena lisääntyneestä lehtipinta-alasta huolimatta. Tämä johtuu em. tutkimuksien mukaan mahdollisesti ilmarakojen säätelyn tehostumisesta ja haihdunnan paremmasta mukautumisesta kuiviin kausiin. Siten lannoitus ei juuri vaikuttane maan vesitaseeseenkaan. Hajoitusaktiviteetin muuttuminen saattaa tosin vaikuttaa myöhemmin humuskerroksen fysikaalisiin ominaisuuksiin ja sitä kautta sen vedenpidätysominaisuuksiin.

415. Muita toimenpiteitä

Kasvupaikalle valittava puulaji vaikuttaa osaltaan maan vesitalouteen. Puuston tiheyden ohella puulaji määrää veden tarpeen, joka heijastuu kasvutilavaatimuksiin ja veden kulu- tukseen ja siten kasvupaikan hydrologiseen taseeseen. Puu- laji vaikuttaa myös juuristonsa ja karikesadon laadun ja määrän kautta humustyyppiin ja maan rakenteeseen. Tutkimuk- sia puulajin ja kasvatustiheyden vaikutuksista maan fysikaa- lisiin ominaisuuksiin on niukasti. Kuusikossa maan pinta- kerrosten kokonaishuokostila on yleensä hieman suurempi kuin lehtimetsässä. Tämä johtuu lähinnä karkeahuokosten suurem- masta osuudesta. Kuusen pinnallinen juuristo ja kuusikon pintamaan usein suuri orgaanisen aineksen määrä lisäävät huokostilaa (Troedsson 1965, Rehfuess 1981). Troedssonin (1965) mukaan havumetsän pintamaan (0-50 cm) vedenpidätys- kyky ja aktuaalinen vesipitoisuus voivat olla keskimäärin jopa 10 % pienempiä kuin vastaavan tyyppisen maan lehti- metsän alla (vrt. Curtis 1960).

Maan vesitaloutta voidaan kuivilla kasvupaikoilla parantaa lisäämällä vedenpidätyskykyä ja/tai kastelulla, vaikka ne eivät liene käytännön toimenpiteinä laajassa mitassa tarkoituksenmukaisia (ks. luku 24.). Kastelu lisää kuivien kasvupaikkojen männiköiden kasvua (esim. Brantseg 1962, Axelson 1981, Lipas 1985). Vedenpidätyskykyä voidaan parantaa lisäämällä maahan esim. turvetta tai savea (esim. Scheffer ja Schachtschabel 1976, Westman 1983, Tate 1987). Maan vesipitoisuutta voidaan myös lisätä vähentämällä evapotranspiraatiota, esim. suorittamalla perkaukset ja hakkuut oikeaan aikaan. Evaporaatiota voidaan teoriassa vähentää samoin menetelmin kuin maataloudessa, esim. vähentämällä pintavaluntaa ja lisäämällä infiltraatiota maanmuokkauksella (esim. Hillel 1982, Heinonen 1985).

42. Kasvupaikan vesitalouden huomioonottaminen metsänhoidon toimenpideohjeissa

Metsienkäsittelyohjeissa (esim. Hankinta-asian... 1985, Metsien... 1985, Ohjekirje... 1985a,b,c, Yksityismetsien... 1987) on hydrologiset näkökohdat otettu huomioon melko yleisluonteisesti. Maan vesitalous vaikuttaa lähinnä maanmuokkausmenetelmän ja puulajin valintaan. Maanmuokkaus on yleensä kevyttä (laikutus, äestys), kun maan vedenläpäisevyys on hyvä. Pyrittäessä johtamaan kasvupaikalta liika pintavesi pois käytetään raskaampia muokkausmenetelmiä (aurausta, ojitusmätästys). Joskus käytetään maan tehokkaampaan kuivatukseen lisäksi ojitusta. Tällöin humuskerros on yleensä paksu ja kivennäismaa hienojakoista ja tiivistä. Tällaisilla mailla, jos lisäksi maan kaltevuus on suuri, eroosiovaara on joskus otettu huomioon kieltämällä aurausta suoraan veden virtaussuuntaan.

Puulajin valinnassa kangasmetsien ohjeistot ottavat vesitalouden huomioon siten, että kuivahkot kankaat ja sitä karummat kasvupaikat uudistetaan pääsääntöisesti männylle ja tuo-

reemmat kuuselle. Rauduskoivua voidaan käyttää kuusen sijasta silloin kun maa ei ole soistunut tai tiivistä hiesu- tai savimaata. Erityisesti peräkkäisten kuusisukupolvien maata huonontavan vaikutuksen vähentämiseksi voidaan viljellä koivua. Hieskoivua voidaan käyttää tiiviillä alavilla mailla erityisesti Pohjois-Suomessa. Kontorta-mäntyä viljellään jossain määrin tiiviillä savimailla. Lehtikuusi vaatii vesitaloudeltaan "edullisen" kivennäismaan; etua lehtikuusesta on arvioitu olevan lähinnä Lapin ylänkö-alueilla (esim. Ohjekirje... 1985a,b,c, Yksityismetsien... 1988).

5. PÄÄTELMÄT

Metsämaan vesitalouden tutkimus on maassamme kohdistunut lähinnä turvemaiden ominaisuuksiin ja soiden ojitukseen. Kangasmaiden vesitalouden tarkastelu on ollut niukkaa ja hajanaista, joten vesitalouden merkitys kasvupaikkatekijänä kasvupaikkatyypeittäin ja alueittain on heikosti tunnettu. Lisäksi lukuisat maavesitutkimukset (esim. geologian, maataloustieteiden ja teknisten tieteiden aloilla) vain sivuavat kangasmaiden vesitaloutta eivätkä anna yleensä perusteita tietämykselle vedestä metsien kasvutekijänä. Tutkimustulosten sovellettavuus on heikko. Lisäksi vesitaloustutkimuksia ja tulosten käyttökelpoisuutta heikentää tutkimusmetodologian kehittymättömyys. Esim. maan vesipitoisuuden arviointi perustuu epäsuoriin maasto- ja laboratoriomittauksiin. Kivennäismaanäytteiden kerääminen ja mm. orgaanisen aineksen ja huokoskokojakauman määrittäminen niistä on hankalaa ja usein epätarkkaa. Siten kangasmaiden vesitalouden tutkimustarve yhdessä tutkimuksen menetelmällisten valmiuksien kehittämisen kanssa on perusteltua.

Metsänkasvatuksessa maan vesitalouden vaikutus voidaan ottaa huomioon lähinnä kahdelta näkökulmalta: (1) miten metsämaan vesitaloutta tulisi parantaa ja (2) miten kasvupaikan vesitalous tulisi ottaa huomioon valittaessa metsänhoitomenetel-

miä. Nämä kysymyksenasettelut nousevat ongelmista, joita vesitalouteen liittyy esim. metsänuudistamisessa. Pohjois-Suomen laajoilla viljelyaloilla olisi tutkittava mm. peruskuivatuksen tarkoituksenmukaisuutta eri kasvupaikoilla ennen varsinaista maanmuokkausta. Maanmuokkausmenetelmien vaikutusta maan vesitalouteen tulisi selvittää myös metsänuudistumisen jälkeen. Tutkimusta metsänhoidon menetelmien ekologisista vaikutuksista tulisi yleensä lisätä, esim. lannoituksen ja maan vesitalouden välisten vuorovaikutusten osalta. Toisaalta tutkimustarvetta on myös sellaisilla alueilla ja kasvupaikoilla, joilla vesitaloutta ei yleensä ole pidetty ongelmana. Tällaisia ovat esim. kuivat kankaat, joiden vesitalous nähdään olevan "kunnossa", vaikka vedenpuute rajoittaaakin jossain määrin puuston kasvua. Kuivien kankaiden osalta tulisi tutkimuksessa kiinnittää huomiota esim. mahdollisuuksiin lisätä maan vedenpidätyskykyä.

Nykyiset metsänhoidon toimenpideohjeistot ovat monessa suhteessa varsin yleisluonteisia. Kuitenkin maasto on Suomessa melko pienipiirteistä. Metsikkökuviot ja metsälöt yksityismetsissä ovat yleensä pienialaisia. Tällöin luonnolliset toimintayksiköt ovat myös pieniä. Nämä seikat edellyttävätkin maan vesitalouden tarkkaa tilanearviota suunniteltaessa metsien käsittelyä. Maan vesitalouden arvioimiseksi tulisi kehittää menetelmä, joka perustuu riittävän tarkkaan kuvaukseen olennaisista kasvupaikkatekijöistä (esim. maannos, maalaji, pohjavedenpinta, topografia). Lisäksi maamme eri osissa tulisi soveltaa paremmin vallitsevien maaperä- ja sääolojen erityispiirteitä metsänhoidossa. Esim. Etelä- ja Pohjois-Suomessa maan vesitalous on ratkaisevasti erilainen. Tässä suhteessa myös alueellinen kangasmaiden vesitalouden tutkimustarve on ilmeinen.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- Aaltonen, V.T. 1920. Wasserverbrauch der Bäume und Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens. Acta For. Fenn. 14.
- Aaltonen, V.T. 1928. Über den Einfluss des Waldes auf die Kornzusammensetzung des Erdbodens in Sandböden. Summary: The effect of the forest upon the mechanical composition of soil in sandy soils. Commun. Inst. For. Fenn. 13.
- Aaltonen, V.T. 1940. Metsämaa. WSOY.
- Aaltonen, V.T. 1941. Metsämaamme valtakunnan metsien toisen arvioinnin tulosten valossa. Referat: Die finnischen Waldböden nach der Erhebungen den zweiten Reichswaldschätzung. Commun. Inst. For. Fenn. 29(5).
- Aarnio, B. 1938. Moreenin mekaaninen kokoomus Suomessa. Referat: Die mechanische Zusammensetzung der Moräne in Finnland. Maatalouskoelait. maatumkimusos. Agrogeol. julk. 45.
- Ahti, E. 1987. Water balance of drained peatlands on the basis of water table simulation during the snowless period. Seloste: Ojitettujen soiden vesitaseen arvioiminen lumettomana aikana pohjavesipinnan simulointimallin avulla. Commun. Inst. For. Fenn. 141.
- Airaksinen, J.U. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Pohjoinen.
- Andersson, S. 1967. Den organiska substansen i våra jordar och vattenbindningen. Uppsala.
- Andersson, S. & Wiklert, P. 1972. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord XXIII. Om de vattenhållande egenskaper hos svenska jordarter. Summary: Water-holding properties of Swedish soils. Grundförbättring 25(2-3):53-143.
- Aronsson, A., Elowson, S. & Ingestad, T. 1977. Elimination of water and mineral nutrition as limiting factors in a young Scots pine stand. I. Experimental design and some preliminary results. Swed. Conif. For. Proj. Tech. Rep. 10.
- Arya, L.M. & Davis, J.F. 1981. A Physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 1023-1030.
- Axelsson, B. 1981. Site differences in yield - differences in biological production or in redistribution of carbon within trees. Sveriges Lanbruksuniv. Instn. ekol. miljöv. Rapp. 9.
- Bengtson, C. 1980. Effects of water stress on Scots pine. In: Persson, T. (ed.) Structure and Function of Northern Coniferous Forests. An Ecosystem Study. Ecol. Bull. 32:205-213.
- Black, C.A. 1968. Soil-Plant Relationships. 2nd ed. John Wiley & Sons.
- Boyer, J.S. 1985. Water transport. Ann. Rev. Plant Physiol. 36: 473-516.
- Brantseg, A. 1962. Irrigation and Twig-Covering Experiments in Scots Pine Forests. Commun. Inst. For. Fenn. 55(7).

- Brix, H. & Mitchell, A.K. 1986. Thinning and nitrogen fertilization effects on soil and tree water stress in a Douglas-fir stand. *Can. J. For. Res.* 16:1334-1338.
- Buchmann, I. 1969. Untersuchung der Dynamik des Wasserhaushaltes verschiedener Bodentypen insbesondere mit Hilfe der Neutronensonde. Rhein. Fried.-Wilk. Univ.
- Cajander, A.K. 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. *Forest Types and Their Significance. Acta For. Fenn.* 56.
- Curtis, W.R. 1960. Moisture storage by leaf litter. USDA For. Serv. Lake States For. Ex. Station. Tech. Notes 577.
- Danfors, E. 1963. Marken ur fysikalisk synvinkel. I: Håkansson, R. (red.) *Jord, gröd, djur. Aktuella praktiska resultat från svensk jordbruksforskning*, sid. 98-120. LT Förlag.
- Devlin, R.M. & Witham, F.H. 1983. *Plant Physiology*. 4th ed. Willard Grant.
- Douglass, J.E. & Swank, W.T. 1975. Effects of Management Practices on Water Quality and Quantity. Coweeta hydrologic laboratory, North Carolina. Municipal Watershed Management. Symp. Proc. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-13:1-13.
- Eriksson, J. 1982. Markpackning och rotmiljö. Summary: Soil compaction and root environment. Sveriges Lantbruksuniv. Instn. markvetenskap. Rapp. 126.
- Eschner, A.R. & Mader, D.L. 1975. Effects of Management Practices on Water Quality and Quantity. Other hydrologic research in the Northeast. Municipal Watershed Management. Symp. Proc. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-13:66-78.
- Ferm, A. & Sepponen, P. 1981. Aorausjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusaloilla Lapissa 10 vuoden aikana. Summary: Development of ploughed tracks and vegetation on reforestation areas in Finnish Lapland during a period of 10 years. *Folia For.* 493.
- Gaertner, E.E. 1963. Water Relations of Forest Trees. In: Rutter, A.J. & Whitehead, F.H. (ed.). *The Water Relations of Plants. A Symposium of the British Ecological Society*. London, 5-8 April 1961. pp. 366-378. Blackwell.
- Granlund, E. & Wennerholm, S. 1935. Sammanbandet mellan moräntyper samt bestånds- och skogstyper i Västerbottens Lappmarker. *Sveriges Geol. Unders. Ser. C. Avhandlingar och Uppsatser* 28(4).
- Greminger, P. 1984. Physikalisch-ökologische Standortuntersuchung über den Wasserhaushalt in offenen Sikersystem Boden unter Vegetation am Hang. Summary: Physical and ecological studies on the waterflow pattern in a fairly permeable soil on a slope under vegetation. *Eidg. Anst. forstl. Versuchsw.* 60(2).
- Haavisto, M. (toim.) 1983. Maaperäkartan käyttöopas. Geologinen tutkimuslaitos. Opas 10.
- Hager, H. & Sieghardt, M. 1984. Standortsschäden durch Bodenverdichtung: 1. Bodenphysikalische Veränderungen an Böden mit unterschiedlicher Feinfraktion. *Cbl. ges. Forstw.* 101(2): 109-120.

- Hainsworth, J.M. & Aylmore, L.A.G. 1986. Water extraction by single plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:841-848.
- Halden, B.E. 1926. Studier över skogsbeståndens inverkan på markfuktighetens fördelning hos skilda jordarter. *Sveriges Skogsv.föreningens Tidskr. Ser. A.* 24:125-243.
- Hankinta-asiain käsikirja. 1985. 6/85 Mh 2.1. Tehdaspuu Oy.
- Hartge, K.H. 1978. Einführung in die Bodenphysik. Ferdinand Enke.
- Havas, P. & Kubin, E. 1983. Structure, growth and organic matter content in the vegetation cover of an old spruce forest in Northern Finland. *Ann. Bot. Fenn.* 20(2):115-150.
- Haverkamp, R. & Parlange, J-Y. 1986. Predicting the water-retention curve from particle-size distribution: 1. Sandy soils without organic matter. *Soil Sci.* 142(6):325-339.
- Heikinheimo, O. 1912. Metsämaitten kosteussuhteista. *Suomen Metsänh.yhd. julk.* XXIX(10):443-461.
- Heikurainen, L. & Päivänen, J. 1970. The Effect of Thinning, Clear Cutting and Fertilization on the Hydrology of Peatland Drained for Forestry. *Seloste: Harvennuksen, avohakkuun ja lannoituksen vaikutus ojitetun suon vesioloihin. Acta For. Fenn.* 104.
- Heikurainen, L. & Joensuu, S. 1981. Metsäojituksen hydrologiset seurausvaikutukset. Summary: The hydrological effects of forest drainage. *Silva Fenn.* 15(3):285-305.
- Heino, R. 1977. Ilmasto-oloista Suomessa 1961-1975 verrattuna normaalikauteen 1931-1960. *Ilmatiet. lait. tiedonant.* 33.
- Heinonen, R. 1957. Pohjamaan huokoisuudesta Suomen maala-jeissa. Summary: Porosity conditions in Finnish subsoils. *Maatal.-tiet. aikakausk.* 29:27-37.
- Heinonen, R. 1960. Das Volumgewicht als Kennzeichen der "normalen" Bodenstruktur. *Selustus: Tilavuuspaino maan "normaalin" rakenteen tunnuksena. Maatal.tiet. aikakausk.* 32:81-87.
- Heinonen, R. 1985. *Soil Management and Crop Water Supply.* 4th ed. Swedish Univ. Agr. Dept. Soil Sci.
- Heiskanen, J. 1988. Metsämaan vedenpidätyskyvystä ja sen suhteista eräisiin kasvupaikasta mitattuihin tunnuksiin. *Helsingin yliopisto. Metsänhoitotiet. lisensiaattityö.*
- Helliwell, D.R. 1982a. Options in Forestry. A review of literature on the effects of different tree species and silvicultural systems on soil, flora, fauna, visual amenity and timber production. Packard.
- Helliwell, D.R. 1982b. Tree growth and changes in soil moisture 1. Effects of changing water levels in the soil. *Arboricultural J.* 7(2):93-95.
- Hellkvist, J., Hillerdal-Hagströmer, K. & Mattson-Djos, E. 1980. Field studies of water relations and photosynthesis in Scots pine using manual techniques. In: Persson, T. (ed.). *Structure and Function of Northern Coniferous Forests. An Ecosystem Study. Ecol. Bull.* 32:183-204.

- Henttonen, H. 1984. The dependence of annual ring indices in some climatic factors. Seloste: Vuosilustoindeksien riippuvuus ilmastotekijöistä. Acta For. Fenn. 186.
- Hesselman, H. 1937. Om humustäckets beroende av beståndets ålder och sammansättning i den nordiska granskogen av blåbärsrik Vaccinium-typ och dess inverkan på skogens förgnygring och tillväxt. Zusammenfassung: Über die Abhängigkeit der Humusdecke von Alter und Zusammensetzung der Bestände im nordischen Fichtenwald von blaubeerreihern Vaccinium-Typ und über die Einwirkung der Humusdecke auf die Verjüngung und Wachstum des Waldes. Medd. Statens Skogsförsöksamst. 30: 669-715.
- Hildebrand, E.E. 1983. Der Einfluss der Bodenverdichtung auf die Bodenfunktionen im forstlichen Standort. Summary: The influence of soil compaction on soil functions on forest sites. Forstwiss. Cbl. 102(2):111-125.
- Hillel, D. 1971. Soil and Water. Physical Principles and Processes. Academic Press.
- Hillel, D. 1980. Applications of Soil Physics. Academic Press.
- Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics. Academic Press.
- Hillerdal-Hagströmer, K., Mattson-Djos, E. & Hellkvist, J. 1982. Field studies of water relations and photosynthesis in Scots pine. II. Influence of irrigation and fertilization on needle water potential of young pine trees. Physiol. Plant. 54:295-301.
- Hoffmann, D. 1968. Der Wasserhaushalt des Waldbodens - Möglichkeiten einer Dargebotssteuerung? Forst- u. Holzw. 23(18):370- 373.
- Huikari, O. 1959. On the effect of anaerobic media upon the roots of birch, pine and spruce seedlings. Selostus: Kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimien juuristoihin. Commun. Inst. For. Fenn. 50(9).
- Hydrologinen vuosikirja 1978-1979. 1980. Lisänä vuosien 1931- 1960 ja 1961-1975 keskiarvoja. Vesientutk.lait. julk. 45.
- Hägglund, B. & Lundmark, J-E. 1977. Site index estimation by means of site properties, Scots pine and Norway spruce in Sweden. Sammanfattning: Skattning av höjdboniteten med ståndortsfaktorer, tall och gran i Sverige. Stud. For. Suec. 138.
- Hägglund, B. & Svensson, L-G. 1982a. Ståndortsförhållanden på skogsmark och myr i Sverige. En beskrivning och analys grundad på data från riksskogstaxering. Summary: Site conditions on forest land and wetlands in Sweden. A description and analysis based on data from the National Forest Survey. Sveriges Lantbruksuniv. Inst. skogstax. Rapp. 35.
- Hägglund, B. & Svensson, L-G. 1982b. Svensk skogsmarksbördighet och ståndortsförhållanden. Skogsfakta 2.
- Ilvessalo, Y. 1933. Metsätyyppien esiintyminen eri maala-jeilla. Summary: Occurrence of forest types on the different soils. Commun. Inst. For. Fenn. 18(5).

- Ilvessalo, Y. 1937. II valtakunnan metsien arvioinnin suunnitelma ja ulkotyöohjeet. Summary: Instructions for Field Work of the II National Survey of the Forest of Suomi (Finland). Commun. Inst. For. Fenn. 22(5).
- Johansson, B. 1985. A study of Soilwater and Groundwater Flow on Hillslopes - Using a Mathematical Modell. Nordic Hydrol. 16(2):67-78.
- Juutinen, P., Kallio, T. & Mälkönen, E. 1979. Tehostetun puun talteenoton vaikutus metsäekosysteemiin ja sen tuotantokykyyn. Esitutkimusraportti. Helsinki. Moniste.
- Kalela, A. 1961. Waldvegetationszonen Finnlands und ihre klimatische Paralleltypen. Arch. Soc. Vanamo 16.
- Kalliola, R. 1973. Suomen kasvimaantiede. WSOY.
- Kellomäki, S. 1972. Maanpinnan reliefin ja kasvillisuuden kehityksestä aurauksen jälkeisinä vuosina Perä-Pohjolan metsänuudistusaloilla. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotiet. lait. tiedonant. 8.
- Kellomäki, S. 1973. Tallaamisen vaikutus mustikkatyypin kuusikon pintakasvillisuuteen. Summary: Ground cover response to trampling in a spruce stand of Myrtillus type. Silva Fenn. 7(2):96-113.
- Kellomäki, S. 1977. Deterioration of forest ground cover during trampling. Seloste: Taallaamisen vaikutus metsikön pintakasvillisuuteen. Silva Fenn. 11(3):285-305.
- Kellomäki, S. 1979. On geoclimatic variation in basic density of Scots pine wood. Seloste: Ilmastotekijöiden vaikutus männyn puuaineen tiheyteen. Silva Fenn. 13(1):55-64.
- Kellomäki, S. & Pohjapelto, P. 1976. Metsikkösadannan määrä ja vaihtelu eräässä luonnontilaisessa kuusikossa. Summary: The distribution of throughfall in a virgin spruce stand. Silva Fenn. 10(2):133-140.
- Keskitalo, P. & Sepponen, P. 1986. Erilaisten moreenimuotojen kasvupaikkaominaisuuksia Pohjois-Suomessa. Summary: The site properties of different types of moraine formation in northern Finland. Folia For. 676.
- Kivinen, E. 1941. Tutkimuksia vaara-alueiden moreenimaiden ominaisuuksista. Referat: Über die Eigenschafte der Moräneböden in den ostfinnischen Vaara-gebieten. Maatalouskoel. maantutkimusos. Agrogeol. julk. 51.
- Kivisaari, S. 1983. Muokkaus ja maan vesitalous suhteessa maan rakenteeseen. Maataloustieteen päivät. Suomen maatal.tieteell. seur. tied. 3:42-50.
- Kivisaari, S. 1984. Maa fysikaalisena kasvualustana. Jyväskylän yliopiston biol. lait. tiedonant. 40:8-14.
- Koistinen, E. 1985. Alikasvosten esiintyminen eräissä Lounais-Suomen ja Pirkka-Hämeen yksityismetsissä. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotiet. liseniaattityö.
- Koivisto, P. 1970. Regionality of forest growth in Finland. Seloste: Metsän kasvun alueellisuus Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 71(2).
- Koivisto, V. 1976. Metsämaan ilmavuudesta ja sen parantamisesta. Metsä ja Puu 3:4-6.
- Kolkki, O. 1969. Katsaus Suomen Ilmastoon. Ilmatiet.lait. tiedonant. 18.

- Kolkki, O., Huovila, S. & Valmari, A. 1970. Kasvituotannon alueelliset rajat maatalousmeteorologian kannalta. Nordia tiedonant. 3.
- Korpilahti, E. 1988. Photosynthetic production of Scots pine in the natural environment. Seloste: Männyn yhteyttämistuotos luontaisessa kasvuympäristössä. Acta For. Fenn. 202.
- Kotisaari, A. 1981. Kuivuuden vaikutus lehtipuiden veden käyttöön ja kasvuun. Helsingin yliopisto. Ympäristön-suojelun pro gradu-työ.
- Kozlowski, T.T. 1968. Water Deficits and Plant Growth. Vol. II. Plant Water Consumption and Response. Academic Press.
- Kozlowski, T.T. 1986. Soil Aeration and Growth of Forest Trees. Review article. Scand. J. Res. 1:113-123.
- Kramer, P.J. 1983. Water Relations of Plants. Academic Press.
- Kramer, P.J. & Kozlowski, T.T. 1979. Physiology of Woody Plants. Academic Press.
- Kreutzinger, M. & Ostrowski, S. 1968. Relationship between height increment in Scots pine and atmospheric precipitation amount. Sexto Congreso Forestal Mundial. Madrid Junio 1966. Moniste.
- Krol, H. 1979. [Retention capacity of soils from various forest site types.] Zaklab. Gleb. i Nawozenia. Inst. Badaw. Sylwan 123(1): 23-30. Ref.
- Kujansuu, R. 1985. Quaternary deposits of Finland. In: Saarnisto, M. (ed.) INQUA till symposium. Finland 1985. Excursion guide. pp. 7-18.
- Kurimo, H. & Hovi, A. 1984. Metsätaloudellisten toimenpiteiden hydrologiset ja hydrometeorologiset vaikutukset. Kirjallisuustutkimus. Summary: Hydrological and hydrometeorological effects of silvicultural treatments - literature research. Vesihallitus. Tied. 251.
- Kurimo, H., Latja, A. & Antikainen, K. 1985. Avohakkuun ja metsäojituksen vaikutukset biotooppien mikroilmastoon sekä maan pintakerroksen lämpö- ja kosteusoloihin. Metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset. Seminaari 12.11.1985. Moniste.
- Ladefoged, K. 1956. Undersogelser over traernes vandforbrug. Dansk Skovforen. Tidsskr. XLI(10):481-506.
- Laiho, O. 1985. Maanmuokkaus kivennäismaiden ongelmalueilla. Metsäntutk.lait. tiedonant. 184:16-43.
- Larcher, W. 1980. Physiological Plant Ecology. 2nd ed. Springer.
- Lee, R. 1980. Forest Hydrology. Columbia Univ. Press.
- Leikola, M. 1971. Metsikkösadannan määrä eräässä hoide-tussa männikössä. Summary: Throughfall in a managed Scots pine stand in Southern Finland. Silva Fenn. 5(2):129-144.
- Leikola, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil temperature conditions of forest regeneration areas in northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 84(2).
- Lipas, E. 1985. Karujen kangasmaiden lannoitus. Metsäntutk.-lait. tiedonant. 184:35-43.

- Lundin, L. 1977. Grundvattnets vägar i moränmark. Vannet i Norden 10(2):28-36.
- Lundin, L. 1979. Kalhuggningens inverkan på markvattenhalt och grundvattenivå. Summary: The effect of clearcutting on soil moisture and groundwater level. Sveriges Lantbruksuniv. Inst. skoglig marklära. Rapp. skogsekol. skoglig marklära 36.
- Lundmark, J.-E. 1986. Skogsmarkens ekologi. Ståndortanpassat skogsbruk. Del. 1-grunder. Fälths.
- Lähde, E. 1966. Kokeita selluloosan hajaantumisnopeudesta erilaisissa metsiköissä. Summary: Experiments on the decomposition rate of cellulose in different stands. Silva Fenn. 119(1).
- Lähde, E. 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. Commun. Inst. For. Fenn. 94(5).
- Lähde, E. 1984. Pohjois-Suomen kasvupaikkojen erityispiirteistä ja luokituksen kehittämistä. Metsäntutk.lait. tiedonant. 148:38-46.
- Lähde, E., Manninen, S. & Tervonen, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. Summary: The effect of drainage and cultivation on soil physical properties and the development of conifer seedlings. Commun. Inst. For. Fenn. 98(7).
- Maa- ja pohjavesisanasto. Soil and ground-water terminology. Mark- och grundvatten terminologi. 1976. Vesihallituksen julk. 18.
- Mace, A.C.Jr. 1970. Soil Compaction Due to Tree Length and Full Tree Skidding with Rubber-Tired Skidders. Minn. For. Res. Notes No. 214.
- Mace, A.C.Jr. 1971. Recovery of Forest Soils from Compaction by Rubber-Tired Skidders. Minn. For. Res. Notes No. 226.
- Mahendrappa, M.K. 1982. Effects of forest cover type and organic horizons on potential water yield. Canadian Hydrology Symposium. 82, June 14-15. Fredricton, New Brunswick.
- Marshall, T.J. 1959. Relations between Water and Soil. Commonwealth Bureau of Soils. Tech. Commun. 50.
- Marshall, T.J. & Holmes, J.W. 1979. Soil Physics. Cambridge Univ. Press.
- Metsien käsittelyohjeet 1985. Veitsiluoto Oy, Metsäosasto. Moniste.
- Metsä- ja turvetalouden vesiensuojelutoimikunnan mietintö 1988. 26.4. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki.
- Mikkola, K. & Sepponen, P. 1986. Kasvupaikkatekijöiden ja kasvillisuuden suhteet Luoteis-Enontekiön tunturikoivikossa. Summary: Relationships between site factors and vegetation in mountain birch stands in northwestern Enontekiö. Folia For. 674.

- Moore, I.D., Burch, G.J. & Wallbrink, P.J. 1986. Preferential flow and hydraulic conductivity of forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:876-881.
- Mraz, K. 1981. [Der Einfluss von Pflegeeingriffen auf den Bodenwasserhaushalt eines hügeländischen Fichtenbestandes im hügeligen Gelände und ihre wasserwirtschaftliche Bedeutung.] *Prace Vulhm.* 59:7-30. Ref.
- Mälkönen, E. 1972. Näkökohtia metsämaan muokkauksesta. Summary: Some aspects concerning cultivation of forest soil. *Folia For.* 137.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Commun. Inst. For. Fenn.* 84(5).
- Mälkönen, E. 1976. Markberedningens ekologi och inverkan på planteringsresultatet. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse* 6:11-15.
- Mälkönen, E. 1982. Metsämaatieteen perusteita. *Helsingin yliopisto. Metsänhoitotiet.lait. tiedonant.* 19.
- Mälkönen, E. 1983. Maan kunnostaminen metsänuudistamisessa. *Metsäntutk.lait. tiedonant.* 124:6-16.
- Nieppola, J. 1986. Cajanderin metsätyyppiteoria. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Summary: Cajander's theory of forest site types. Literature review. *Folia For.* 645.
- Norokorpi, Y. & Kärkkäinen, S. 1985. Maaston korkeuden vaikutus puusto- ja kasvupaikkatunnuksiin sekä tykkytuhoihin Kuusamossa. Summary: The effect of altitude on stand and site characteristics and crown snow-load damages in Kuusamo in northern Finland. *Folia For.* 632.
- Odin, H. 1974. Några meteorologiska förändringar vid hyggesupptagning. Summary: Some meteorological Effects of Clear Felling. *Sveriges Skogsv.förb. Tidskr.* 72(1):60-65.
- Odin, H. 1976. Skogsmeteorologiska faktorers förändring med kalhugning. Del 1. Vinden och Avdunstningen. Biometeorologisk introduktion. Summary: Studies of wind and evaporation in forests and clear felled areas. *Skogshögsk. Instn. skogsförnygr. Rapp. uppsats.* 73.
- Ohjekirje metsien käsittelystä Etelä-Suomen piirikunnassa. 1985a. N:o Mh. 111. Metsähallitus. Moniste.
- Ohjekirje metsien käsittelystä Perä-Pohjolan piirikunnassa. 1985b. N:o Mh. 110. Metsähallitus. Moniste.
- Ohjekirje metsien käsittelystä Pohjanmaan piirikunnassa. 1985c. N:o Mh. 112. Metsähallitus. Moniste.
- Olsson, M.T. 1977. Körskador i skogsbruket - ett markvårdsproblem. *Sveriges Skogsv.förb. Tidskr.* 75(2-3):233-248.
- Perttu, K., Bischof, W., Grip, H., Jansson, P-E., Lindgren, Å., Lindroth, A. & Noren, B. 1980. Micrometeorology and hydrology of pine forest ecosystems I. Field studies. In: Persson, T. (ed.) *Structure and Function of Northern Coniferous Forests. An Ecosystem Study.* *Ecol. Bull.* 32:75-121.
- Pessi, Y. 1960. Ilmasto ja kasviviljely. Maamiehen käsikirjasto. N:o 3.
- Piirola, J. 1978. Tehometsätalous syövyttää maata Koillis-kairan alueella. *Suomen luonto* 8:376-378.

- Poikolainen, J. & Kubin, E. 1985. Snow, frost and temperature conditions in an uncut spruce forest and open clear-cut ploughed areas. *Aquilo Ser. Bot. Tom.* 23:45-55.
- Polster, H. 1963. Photosynthesis and Growth of a Five-year-old Stand of Poplar Trees in Relation to Water Economy of the Site. In: Rutter, A.J. & Whitehead, F.H. (ed.) *The Water Relations of Plants. A Symposium of the British Ecological Society.* London, 5-8 April 1961. pp. 257-271. Blackwell.
- Poso, S. & Kujala, M. 1973. The effect of topography on the volume of forest growing stock. *Seloste: Topografian vaikutus puuston kuutiomäärään.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 78(2).
- Pritchett, W.L. & Fisher, R.F. 1987. *Properties and Management of Forest Soils.* 2nd ed. John Wiley & Sons.
- Pyykkö, M. 1980. *Kasvianatomia.* 3. laajennettu painos. *Gaudeamus.*
- Päivänen, J. 1966. Sateen jakautumisesta erilaisissa metsiköissä. Summary: The distribution of rainfall in different types of forest stands. *Silva Fenn.* 119(3).
- Päivänen, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soils. *Seloste: Turpeen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky.* *Acta For. Fenn.* 129.
- Päivänen, J. 1980a. Metsänhoidollisten toimenpiteiden vaikutus vanhojen metsänojitusalueiden vesitalouteen. *Silva Fenn.* 14(2):214-217.
- Päivänen, J. 1980b. The effect of silvicultural treatments on the ground water table in Norway spruce and Scots pine stands on peat. *Proc. 6th Int. Peat. Congr. Duluth, Minn.* pp. 433-436.
- Päivänen, J. 1982a. Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsänojitusalueen vesitalouteen. Summary: The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area. *Folia For.* 516.
- Päivänen, J. 1982b. Turvemaan fysikaaliset ominaisuudet. *Helsingin yliopisto. Suometsätiet.lait. julk.* 2.
- Rajakorpi, A. 1984. Microclimate and soils of the central part of the Hämeenkangas interlobiate complex in western Finland. *Fennia* 162 (2):237-337.
- Rehfuess, K. 1981. *Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung.* Paul Parey.
- Repshas, E. & Palishkis, E.E. 1983. [The influence of soil compaction on the distribution of pine roots.] *Lithuanian For. Sci. Res. Inst. Botanicheskii Zhurnal* 68(2):223-225. Ref.
- Richards, L.A. 1961. Advances in soil physics. *Trans. 7th Int. Congr. Soil Sci.* 1:67-79.
- Ritari, A. & Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. *Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 92.7.
- Roiko-Jokela, P. 1980. Maaston korkeus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä Pohjois-Suomessa. Summary: The effect of altitude on the forest yield in northern Finland. *Folia For.* 452.

- Rosén, K. 1984. Effect of clear-felling on run-off in two small watersheds in Central Sweden. *For. Ecol. Manage.* 9:267-281.
- Sallantausta, T. 1986. Soiden metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset. Kirjallisuuskatsaus. Maa- ja metsätalousministeriö. Luonnonvarajulk. 11.
- Salter, P.J. & Williams, J.B. 1965. The influence of texture on the moisture characteristics of soils 1. A critical comparison of techniques for determining the available-water capacity and moisture characteristic curve of a soil. *J. Soil Sci.* 16(1):1-15.
- Scheffer, F. & Schachtschabel, P. 1976. Lehrbuch der Bodenkunde. 9. Aufl. Ferdinand Enke.
- Schroeder, D. 1984. Bodenkunde in Stichworten. 4. Aufl. Ferdinand Enke.
- Schuh, W.M. & Bauder, J.W. 1986. Effect of soil properties on hydraulic conductivity-moisture relationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:848-855.
- Schuster, C. 1974. Wasserspiegelabsenkung zwischen zwei Drainagegräben in natürlich gelagertem Boden am Hang. *Eidg. st. A forstl. Versuchsw.* 50(1).
- Sepponen, P. 1981. Kivennäismaan raekoon tunnuksista ja niiden käyttökelpoisuudesta eräiden maan ominaisuuksien kuvaamiseen. Summary: Particle size distribution characteristics of mineral soil and their applicability for describing some soil properties. *Silva Fenn.* 15(2):228-237.
- Sepponen, P. 1982. Kivennäismaiden maalajiluokitus ja sen merkitys metsäekologiselle tutkimukselle ja metsänhoidolle. *Luonnon tutkija* 86(2):77-81.
- Sepponen, P. 1984. Kivennäismaan raekokotunnukset ekologisina selittäjinä. *Jyväskylän yliopiston biol. lait. tiedonant.* 40:15-19.
- Sepponen, P., Lähde, E. & Roiko-Jokela, P. 1979. Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa. Summary: On the relationship between the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland. *Folia For.* 402.
- Seppänen, M. 1964. Vesisateen jakautumisesta männikössä. Summary: On the distribution of rainfall in the pine-tands. *Acta For. Fenn.* 76(8).
- Seuna, P. 1977. Kasteluun vaikuttavista hydrometeorologisista tekijöistä. Summary: On the Hydrometeorological Factors Affecting Irrigation. *Vesien tutk.lait. julk.* 24.
- Seuna, P. 1985. Metsätalouden hydrologiset vaikutukset Nurmes-tutkimuksen valossa. Metsä- ja turvetalouden vesistövaikutukset. Seminaari 12.11.1985. Moniste.
- Simojoki, H. 1966. Suomen vesitaloudesta. *Hydrol. toim. tiedonant.* XXIV.
- Smolander, H. 1982. Kasvien haihdunnasta. Teoksessa: Kärenlampi, L. (toim.) Kuopion ekologiopäivien esitelmät, s. 33-41. Moniste.

- Smolander, H., Räsänen, P.K. & Kostamo, J. 1981. Maan tiiviyden vaikutus männyntaimien haihduntaan ja pituuskasvuun istutuksen jälkeen. Summary: Effect of soil compaction on transpiration and height increment of planted Scots pine seedlings. *Silva Fenn.* 15(3):256-266.
- Solantie, R. 1968. The influence of the Baltic sea and the Gulf of Bothnia on the weather and climate of northern Europe, especially Finland, in autumn and in winter. *Ilmatiet.lait. toim.* 70.
- Solantie, R. 1974. Kesän vesitaseen vaikutus metsä- ja suokasvillisuuteen ja linnustoon sekä lämpöolojen välityksellä maatalouden toimintaedellytyksiin Suomessa. Summary: The influence of water balance in summer on forest and peatland vegetation and bird fauna and through the temperature on agricultural conditions in Finland. *Silva Fenn.* 8(3):160-184.
- Solantie, R. 1980. Suomen ilmastoalueet. Summary: The climatological regions of Finland. *Terra* 92(1):29-33.
- Solantie, R. 1982. Metsätyypit ja metsäkasvillisuusvyöhykkeet ilmaston yhteydessä tarkasteltuina. *Metsä ja puu* 9:4-5.
- Solantie, R. & Ekholm, M. 1985. Water balance in Finland during the period 1961-1975 as compared to 1931-1960. Tiivistelmä: Suomen vesitase 1961-1975 verrattuna vuosien 1931-1960 vesitaseeseen. *Vesientutk.lait. julk.* 59:24-53.
- Sovellettu hydrologia 1986. *Vesiyhdistys ry.*
- Soveri, V. 1964. Maalajit ja niiden käyttö. Teoksessa: Rannkama, K. (toim.) *Suomen geologia.* s. 333-376. Kirjayhtymä.
- Soveri, J. 1985. Influence of meltwater on the amount and composition of groundwater in quaternary deposits of Finland. Tiivistelmä: Sulamisen vaikutus pohjaveden määrään ja laatuun Suomen kvartaärimuodostumissa. *Vesientutk.lait. julk.* 63.
- Söderström, V. 1974. Markberedning. Summary: Soil treatment. *Sveriges Skogsv.förb. Tidskr.* 72(1):157-166.
- Söderström, V. 1975. Ekologiska verkningar av hyggesplogning. Summary: Ecological Effects of Ploughing Mineral Soil before Planting on Clearfelled Areas. *Sveriges Skogsv.förb. Tidskr.* 73(5):443-472.
- Söderström, V. 1976. Analys av markberedningseffekterna vid plantering på några färska hyggen. Summary: Analysis of the effects of scarification before planting conifers on some newly clearfelled areas in Sweden. *Sveriges Skogsv.förb. Tidskr.* 74(2-3).
- Söderström, V. 1977. Markberedningens inverkan på markgenskaperna. *Sveriges Skogsv.förb. Tidskr.* 75(2-3): 225-232.
- Tate, R.L. 1987. Soil organic matter. Biological and ecological effects. John Wiley & Sons.

- Thöle, R., Heckmann, H-J. & Schreiber, K-F. 1985. Grundwasserneubildungsrate und Filterpotential. Ein Betrag zur Ableitung von kleinräumigen planungsrelevanten bodenökologischen Kriterien. Summary: Groundwater recharge and filterpotential. A contribution to derive large-scaled soil-ecological parameters for landscape planning. *Landschaft und Stadt* 17(2):61-65.
- Troedsson, T. 1955. Vattnet i skogsmarken. Zusammenfassung: Das Wasser des Waldbodens. *Kungl. Skogshögsk. Skr.* 20.
- Troedsson, T. 1965. Skogsmarkens hydrologi. Summary: The hydrology of forest soils. *Kungl. Skogs- och Lantbr.-akad. Tidskr.* 104(3-4):142-154.
- Troedsson, T. & Nykvist, N. 1973. Marklära och markvård. *Almqvist & Wiksell.*
- Troedsson, T. & Utbult, K. 1972. Hyggesplöjning från hydrologisk synpunkt. Summary: Soil Ploughing from the Hydrological Point of View. *Sveriges Skogsv.förb. Tidskr.* 70(5):477-486.
- Troedsson, T. & Utbult, K. 1974. Hydrologiska och markfysikaliska förändringar genom kalhuggning. Summary: Hydrological and Soil Physiological Changes Following Clear Felling. *Sveriges Skogsv.förb. Tidskr.* 72(1):66-74.
- Uggla, E. 1957. Mark- och lufttemperaturen vid hyggesbränning samt eldens inverkan på vegetation och humus. *Norrl. Skogsv.- förb. Tidskr.:*443-500.
- Vasander, H. & Lindholm, T. 1985. Fire intensities and surface temperatures during prescribed burning. *Seloste: Tulen voimakkuus ja maanpinnan lämpötila kulotuksen aikana.* *Silva Fenn.* 19(1):1-16.
- Viro, P.J. 1947. Metsämaan raekoostumus ja viljavuus varsinakin maan kivisyyttä silmällä pitäen. Summary: The mechanical composition and fertility of forest soil taking into consideration especially the stoniness of the soil. *Commun. Inst. For. Fenn.* 35(2).
- Viro, P.J. 1955. Investigations on forest litter. *Selustus: Metsäkariketutkimuksia.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 45(6).
- Viro, P.J. 1962. Forest Site Evaluation in Lapland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 55(9).
- Viro, P.J. 1969. Prescribed burning in forestry. *Commun. Inst. For. Fenn.* 67(7).
- Visser, W.C. 1963. Formulae for the Ecological Reaction of Crop Yields. In: Rutter, A.J. & Whitehead, F.H. (ed.) *The Water Relations of Plants. A Symposium of the British Ecological Society.* London, 5-8 April 1961. pp. 326-339. Blackwell.
- Vuokila, Y. 1980. Metsän kasvatuksen perusteet ja menetelmät. *WSOY.*
- 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 the amount of organic matter. *Acta For. Fenn.* 184.

- Wäre, M. 1947. Maan vesisuhteista ja viljelyskasvien sa-
doista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina
1939-1944. Referat: Über die Wasserverhältnisse des Bo-
dens und die Erträge von Kulturpflanzen auf dem Wasser-
wirtschaftlichen Versuchsfeld Maasoja in den Jahren
1939-1944. Maa- ja vesitekn. julk. 5.
- Wästerlund, J. 1985. Compaction of till soils and growth
tests with Norway spruce and Scots pine. For. Ecol.
Manage. 11:171-189.
- Yksityismetsien käsittelyohjeet 1987. 1/1987. Tapio. Monis-
te.
- Yksityismetsien käsittelyohjeet 1988. Esitys. Tapio. Monis-
te.

ISBN 951-40-1069-8

ISSN 0358-4283

Valtion painatuskeskus
Kampin VALTIMO
Helsinki 1989