

Maan ominaisuudet metsänviljelyssä - mätästyksen perusteet

Riikka Repo ja Jukka Valtanen



Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 520

Muhoksen tutkimusasema

1994

Kansikuva: Koeala V Muhoksella entisen tiilitehtaan maalla kuukausi mätästyksen ja istutuksen jälkeen. Maa on hiesua. Taustalla harjamättäät, etualalla patjamättäät. Kuva Esa Kurki.

Maan ominaisuudet metsänviljelyssä - mätästyksen perusteet

Riikka Repo ja Jukka Valtanen

Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 520

1994

Repo Riikka ja Valtanen Jukka. 1994. Maan ominaisuudet metsänviljelyssä. Mätästykseen perusteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 520. 52 s. ISBN 951-40-1387-5, ISSN 0358-4283.

Työssä tutkittiin maan ominaisuuksia ja niiden vaikutusta eri puulajien taimien menestymiseen mätästystä jäljittelevässä kokeessa. Mätäsmaan paksuus vaihteli nolasta 50 cm:iin. Maasta tutkittiin raakoostumus, ominaispinta, vesipitoisuus, humuspitoisuus, huokoisuus, kyllästysaste, tilavuuspaino, vedenläpäisevyys, ilmanläpäisevyys, kapillaarisuus, kokoonpuristuminen, pH, sähkönjohtavuus, pohjaveden pinnan korkeus ja maan lämpötila eli yhteensä viisitoista ominaisuutta. Lisäksi mitattiin kasvukauden sademäärä ja ilman lämpötila. Rousteilmiötä seurattiin silmävaraisesti. Männyn, kuusen ja koivujen istutustaimien sekä männyn ja kuusen kylvötaimien menestymistä seurattiin kolmen kasvukauden ajan.

Maan raakoostumus oli paras taimien menestymisen selittäjä, ja pääosa mitatuista maan ominaisuuksista oli tulkittavissa raakoostumuksen perusteella. Hiesu osoittautui ongelmalliseksi maalajitteeksi. Jos hiesuun oli sekoittunut riittävästi hietaa tai savesta, ongelmat vähenivät. Rouste oli pahin tuhonaiheuttaja. Hiesumaalla kylvökset tuhoutuivat rousteen takia kokonaan ja istutustaimet lähes kokonaan. Jos mättäät olisi tehty jo viljelyä edeltäneenä syksynä, olisi viljelytulos todennäköisesti ollut parempi.

Tulosten perusteella annetaan ohjeita mätästystä suunnitteleville metsänviljelijöille.

Kirjoittajien yhteystiedot: Repo Riikka ja Valtanen Jukka, Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie 7, FIN-91500 Muhos, puh. 981-533 1404.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos. Hanke 302402-5.

Hyväksynyt: Eero Kubin, vs. tutkimusaseman johtaja 7.7.1994.

Jakaja: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie 7, FIN-91500 Muhos.

Hinta: 50 mk

SISÄLLYS

1. Johdanto	1
2. Tutkimusaineisto ja -menetelmä	4
2.1 Mätätyskoejärjestely	4
2.2 Alueen kallio- ja maaperä	7
2.3 Laboratorio- ja kenttämittaukset	8
2.4 Taimien nosto ja mittaus	12
2.5 Aineiston käsittely ja tulosten ilmoittaminen	12
3. Tutkimustulokset	12
3.1 Raekoostumus	12
3.2 Ominaispinta	14
3.3 DC- ja refraktimetriset mittaukset	14
3.4 Vesipitoisuus	15
3.5 Hehkutushäviö	17
3.6 Huokoisuus	17
3.7 Kyllästysaste	19
3.8 Tilavuuspaino	19
3.9 Vedenläpäisevyys	20
3.10 Ilmanläpäisevyys	22
3.11 Kapillaarisuus	22
3.12 Kokoonpuristuminen	24
3.13 pH ja sähkönjohtokyky	25
3.14 Pohjaveden pinta	26
3.15 Maan lämpötila	27
3.16 Säähavainnot	29
3.17 Taimet	30
4. Mittaustulosten tarkastelua	30
4.1 Raekoostumus	30
4.2 Vesipitoisuus	32
4.3 Humuspitoisuus	33
4.4 Huokostila	33
4.5 Tilavuuspaino	34
4.6 Vedenläpäisevyys	34
4.7 Kapillaarisuus	35
4.8 pH	35
4.9 Tiivistyminen	36
4.10 Lämpötila	36
5. Rouste	37
6. Viljelytulos	39
7. Maalajien määrittäminen maastossa	43
8. Yhteenveto ja johtopäätökset	45
9. Tiivistelmä	49
Kirjallisuus	50

1. Johdanto

Maanpinnan käsittelyn tavoitteena on ennen kaikkea maaperän fysikaalisten ominaisuuksien muuttaminen viljelymateriaalin eloonjäämisen ja kehityksen kannalta mahdollisimman suotuisiksi (Lehto 1969, Jauhiainen 1970, Mälkönen 1972, Söderström 1974, 1977). Luontaisen taimettumisen edistäminen on myös tärkeää. Maanpinnan muokkaus vaikuttaa lähinnä maan lämpö-, kosteus-, ilma- ja ravinneoloihin. Maanpinnan käsittelyn toivotaan johtavan mahdollisimman pitkäaikaiseen maanparannukseen.

Useissa tutkimuksissa (mm. Turtiainen & Valtanen 1970, Mälkönen 1972, Leikola 1974, Kauppi & Lähde 1975, Lähde & Pohjola 1975, Mutka & Lähde 1977, Pohtila 1977, Lähde 1978, Ritari & Lähde 1978) on todettu maanpinnan käsittelymenetelmien kohottavan maan pintaosan kasvukaudenaikaista lämpösummaa. Ainoastaan laikutuksen vaikutus maan lämpötilan nostajana on suhteellisen pieni. Maan vesipitoisuuden on havaittu olevan sitä pienempi, mitä tehokkaammasta maanpinnan käsittelymenetelmästä on kysymys. Liikaveden poistaminen merkitsee pitkäaikaista maanparannusta ja maan ilmavoitumista.

Maankunnostusta metsänhoidon päämäärien saavuttamiseksi on tehty pitkään. Soiden ojitus on niistä käytännön mitassa vanhin. Kangasmailla laikutusta eli kivennäismaan paljastamista laikuittain tehtiin viljellen uudistettaessa jo maailmansotien välisenä aikana paljon. Traktoreiden kehittyessä laikutus levisi 1950-luvulla yleismenetelmäksi kautta maan. Kosteiden ja märkien maiden kunnostukseen laikutus ei kuitenkaan riittänyt. Niitä varten kehitettiin metsäaura ns. metsänparannusauroista ja ojauroista saadun kokemuksen perusteella. Metsäauraus kosteiden maiden kunnostamiseksi alkoi varsinaisesti Peräpohjolassa vuonna 1964, vaikka jo vuonna 1951 oli kevyellä metsäoja-auralla tehty vastaavaa muokkausta malliksi Loimaalla ja vuodesta 1962 alkaen Kuusamossa. 2—3 vuodessa metsäauraus yleistyi Pohjos-Suomessa ja levisi jonkin verran maan eteläisillekin alueille. Työtehoseuran kehittämä lautasaura, jota alettiin nimittää metsä-äkeeksi, tuli käyttöön vuodesta 1965 alkaen. Se yleistyi hitaasti Etelä- ja Keski-Suomessa yleismenetelmäksi laikutuksen vastaavasti vähentyessä. Myös muita menetelmiä kehitettiin, mm. jyräjöitä ja repijöitä. Ne eivät ole yleistyneet.

Mätästystä metsänuudistamisen maanvalmistusmenetelmänä käytettiin tietyvästi ensimmäistä kertaa vuonna 1964, kun Myllykoski Oy:n piiriesimies Antti Seppänen teki Keskusmetsäseura Tapion ja Kansallis-Osake-Pankin järjestämän suometsäkilpailun yhteydessä traktorikaivurilla kuoppamätästystä suolla Saarijärvellä. ”Viralliseen” käyttöön menetelmä tuli kolme vuotta myöhemmin Porin metsänparannuspiirissä, missä metsänhoitaja Väinö Ranta teetti mätästykseen vuonna 1967 Eurajoella urpasavipohjaisella suolla. Mätästyksestä käytettiin silloin nimeä möykytys. Metsänparannuspiirin päämetsänhoitaja Arne Nikkilä totesi menetelmän tarpeelliseksi ja käyttökelpoiseksi kangaskuvioiden märkien alalaitojen, vetisten notkelmien ja ohutturpeisten soiden kunnostamiseen metsänviljelyä varten, ja sitä alettiin käyttää Satakunnan alueella yleisesti. Vähitellen uusi tapa levisi eri metsälautakuntiin, metsänparannuspiireihin ja metsänhoitoyhdistyksiin. Vielä vuoden 1985 tienoilla oli kuitenkin lautakunta-alueita, missä mätästystä ei tunnettu ja vetisten alankojen maankunnostustapa oli ratkaisua vailla. Vasta vuodesta 1988 alkaen voidaan sanoa menetelmän olleen tunnettu kautta maan ja myös käytössä lähes kaikissa metsänhoitoyhdistyksissä. Metsämaiden muokkauksesta, jota vuosittain tehdään noin 130 000—140 000 ha, on mätästykseen osuus 20 000—25 000 ha.



Kuva 1. Alava osittain soistunut kangas, joka on hakattu siemenpuuasentoon ja muokattu metsä-äkeellä. Uudistaminen on epäonnistunut. Muokkaustavaksi olisi pitänyt valita auraus tai mätätysty, jotka poistavat liian veden ja paljastavat kivennäismaata riittävästi. Siemenpuuiden kaatumisriski on suuri, sillä niiden juuristot ovat maan märkytyden takia pinnalliset. Haapajärvi.

Mätätysty oli alkuun kuoppamätätysty, möykytyty. Traktorin kaivurilla nostettiin kauhallinen maata kuopan viereen. Tuoreilla mailla, jotka eivät olleet liian märkiä, se oli taimien kannalta riittävä menetelmä. Ne pääsivät voitolle pintakasvillisuuden kilpailusta. Vetisyyden ongelmaa ei sillä ratkaistu. Pian myös todettiin, että möykytetyllä alueella oli vaarallista kulkea kasvillisuuden peittäessä kuoppia näkymästä. Kuopista arvioitiin olevan haittaa myös myöhemmissä taimikonhoitotyöissä ja jopa ensimmäiseen harvennushakkuuseen asti. Siksi menetelmä muutettiin ojitusmätätystykseksi, missä kuoppa muuttui pitkäksi vettä pois johtavaksi ojaksi ja mätättyä olivat ojien välisellä saralla määräväleini. Tämäkin muutos tapahtui hitaasti 1970-luvulla tai vasta 1980-luvun alussa.

Metsäaurausty ja ojitusmätätysty ovat pääpiirtein toistensa vaihtoehdot. Kummassakin kasvualustan vesiolot saadaan taimille sopiviksi, kasvualusta kunnostetaan helpoksi viljellä ja pintakasvillisuuden kilpailua vähennetään. Vm. näkökohta on erityisesti Etelä-Suomessa painava. Kustannusten kohtuullisuutta ajatellen auraustyty vaatii usean hehtaarin työaloja ja niitä useita paikkakunnalla, koska auraustyksikkö — raskas telatraktori + aura — kuljetetaan lavetilla. Traktorikaivuri sen sijaan kulkee itse tarvitsematta kuljetusautoa, ja voi käydä hyvinkin pienillä työmailla. Edullisissa oloissa aurausmuokkaus on ollut noin 30 % halvempaa kuin mätätysty. Kuviokoko on Etelä-Suomessa pienempi kuin pohjoisessa, ja siksi auraus ei yleistynyt etelässä. Siten kosteiden maiden muokkausratkaisua jouduttiin etelässä odottamaan kymmenkunta vuotta pitempään kuin pohjoisessa eli kone- ja menetelmäratkaisujen välisen ajan verran. Ojitusmätätystyksellä oli ”metsänhoidollinen tilaus” Etelä-Suomen ongelmamaiden kunnostamiseen.

Traktorikaivurin ohessa mätästykseen käytetään pyöriväalustaista kaivinkonetta. Suurehkoilla työmailla sen käyttö on edullisempaa. Koneen ulottuvuudesta riippuen sarkaleveydeksi tulee 8—15 metriä. Mätäskoko on vuosien mittaan pienentynyt noin 400 litrasta sataan litraan ja sen allekin. Vastaavasti ojat ovat pienentyneet. Kokemuksen myötä ja uudistamistulosten mukaan tekniikka on kehittynyt. Yleisin muutos on mätäskorkeuden aleneminen. Hienojakoisella ja liettyvällä maalla suositellaan jopa vain noin viiden senttimetrin maakerrosta, jonka alle juuret istutettaessa tulevat. Silloin vastaavasti otetaan kasvillisuushaitan riski pintakasvillisuuden kasvaessa jo ensimmäisenä kesänä ohuesta maakerroksesta läpi.

Mätästyskoneet ovat nykyään usein monitoimikoneita. Suolla ne tekevät normaalia ojitusta. Ohutturpeisella alalla ja märissä kankaitten notkoissa ne mätästävät, tekemällä notkon leveydestä riippuen ehkä vain yhden ojan ja sen kahta puolen mättää määrävällein noin kahteen riviin ulottuvuuden mukaan. Kuivilla paikoilla ne tekevät laikutusta. Tavoitteena on valmistaa hyvä istutuspaikka ja kasvualusta noin 2 000 taimelle hehtaarilla jokseenkin tasavällein. Laajaan mättääseen voidaan istuttaa kaksi tai kolmekin tainta.

Mätästys kehittyi nimenomaan hienojakoisilla maille tarpeelliseksi maankunnostusmenetelmäksi, missä laikutus ja yleisin muokkaustapa metsä-äestys eli lautasauraus eivät riittäneet maan kuivatukseen ja ilmanvaihdon riittävään parantamiseen. Kokemuksen karttuessa todettiin kuitenkin, että ratkaisu ei ollut kypsä. 1980-luvun alkupuolelta asti metsäammattimiesten jatkuva kysymys oli ”millainen mätäs hienojakoiselle maalle”. Ne maat olivat metsänhoidollisesti vaikeita, monesti puulajikoostumuksetaan ja puuston rakenteeltaan heikkoja ja jopa vajaatuottoisia maan korkeasta viljavuudesta huolimatta. Tavanomaisia menetelmiä käytettäessä pintakasvillisuus oli ylivoimainen haitatekijä ja myös roustevauriot olivat yleisiä.

Metsänuudistamistyössä jatkuvasti esiin tullut kysymys mättään paksuudesta eri maalajeilla oli tämän tutkimuksen virittäjä. Pyrimme selvittämään maalajin vaikutusta eri puulajien istutustaimien menestymiseen ojitusmätästettyä metsänuudistusalaajäljittelevillä koaloilla sekä vertailemaan erilaisten mätäspaksuuksien sopivuutta. Työ painottui hienojakoisille maille. Samalla hankittiin alustavia tietoja kylvöjen alkuunlähdestä mätästetyillä kasvualustalla. Tutkimus tehtiin yhdessä metsätiet. yo Esa Kurjen kanssa, joka laati työn viljelyosasta erillisen tutkimusraportin (Kurki 1994). Hän tutki taimien elossa säilymistä ja pituuskasvua sekä juuriston kasvua, kun taas tässä nyt käsilläolevassa tutkimuksen osassa pyritään saamaan selville taimien menestymiseen vaikuttavia tekijöitä eri maalajien fysikaalisia ominaisuuksia tutkimalla. Tutkimuksesta on valmistunut pro gradu -työ Oulun yliopiston geologian laitoksella (Repo 1993).

Tutkimuksen suunnitteli Jukka Valtanen. Metsätalousteknikko Jukka Pohjola valvoi koalojen perustamisen ja taimi-inventoinnit. Riikka Repo teki kasvupaikan ja maaperän tutkimukset. Myös pääosa tekstistä on hänen kirjoittamaansa. Valtasen kirjoittamia ovat mm. johdannon pääosa, ominaispinnan mittauksen ja DC- ja refraktiometrinen luotausten kuvaukset sekä luvut 5—7 ja 9. Kuvat viimeisteli Irene Murtovaara ja kirjoitusasun Merja Moilanen ja Tuula Väärä. Tekijät kiittävät työssä mukana olleita.



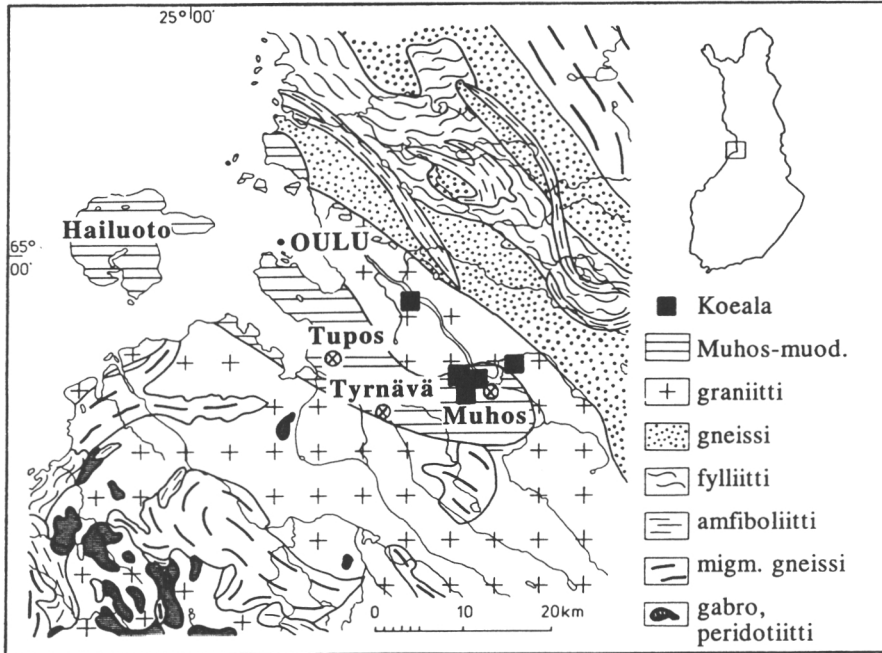
Kuva 2. Esimerkki ojitusmätästyksestä. Oja oikealla ja vasemmalla, sarkaleveys 12 metriä ja mätäskoko 300 litraa. Paltamo, Kivesvaara. Kuva Pentti Savilampi.

2. Tutkimusaineisto ja -menetelmä

2.1 Mätästyskoejärjestely

Tutkimuksen koealat sijaitsivat Muhoksella 25—40 km Oulusta itäkaakkoon (kuva 3). Eri maalajeille perustettiin kuusi koealaa; painotus oli hienoilla maalajeilla, joita verrattiin karkeampaan moreenimaahan. Koekentät, joiden koko oli vajaa kaksi aaria, nimettiin ja numeroitiin seuraavasti: I ja II Pyhänsivu, III Markus, IV Matokorpi, V Tiilitehdas ja VI Viskaali. Koealat I ja II sijaitsivat noin viisi kilometriä Muhoksen metsäntutkimusasemalta koilliseen Pyhänsivulle menevän tien lähellä avaralla voimajohtokadulla. Topografinen korkeus oli 70 m. Koealat III ja IV sijaitsivat Koivikon maatalousoppilaitoksen pelloilla; III (Markus) sata metriä Oulujoesta etelään ja IV noin kaksi kilometriä etelämpänä Matokorven peltoaukeiden laidassa. Soson entisen tiilitehtaan maalle perustettiin koeala V. Koeala VI oli Viskaalissa, Valtatie 22 varrella, Muhokselta 14 km Ouluun. Koealat III—VI olivat 15—20 metriä meren pintaa ylempänä. Viskaalin koeala ja sen ympäristö muutaman hehtaarin alalta oli maaperänsä takia vaikeakulkuista aluetta, pajukkoa ja hieskoivikkoa, jota ei lähteisyyden takia ole voitu tehdä pelloksi. Lähteet — vesisilmät — vaihtavat paikkaa ja mm. traktorilla kulku sisältää riskin.

Koealat valmistettiin 13.—14.5.1991. Risukko yms. kaadettiin ja siirrettiin pois koealalta. Mättäiden tekoon käytettiin traktorikaivuria ja lapiota. Maan pintaa ei rikottu mättäiden alta. Mättäiden materiaaliksi käytettiin paljasta kivennäismaata, mutta

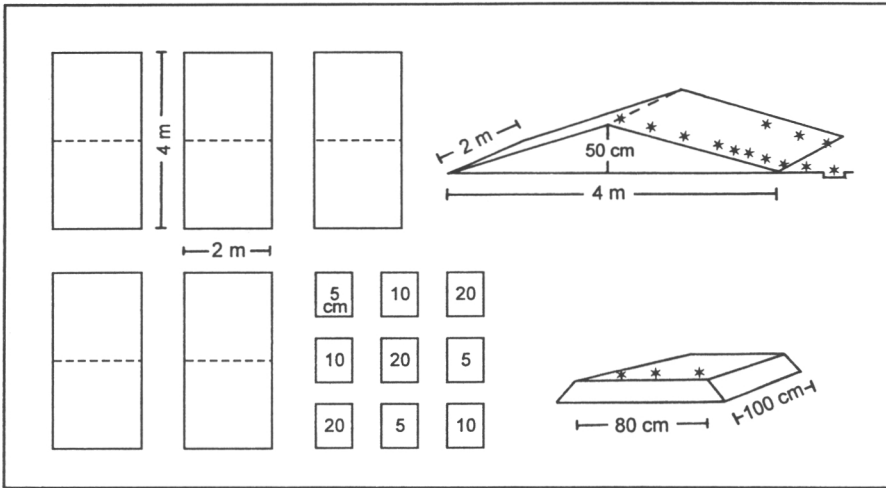


Kuva 3. Muhoksen seudun kallioperä, Muhos-muodostuma ja koealojen sijainti.

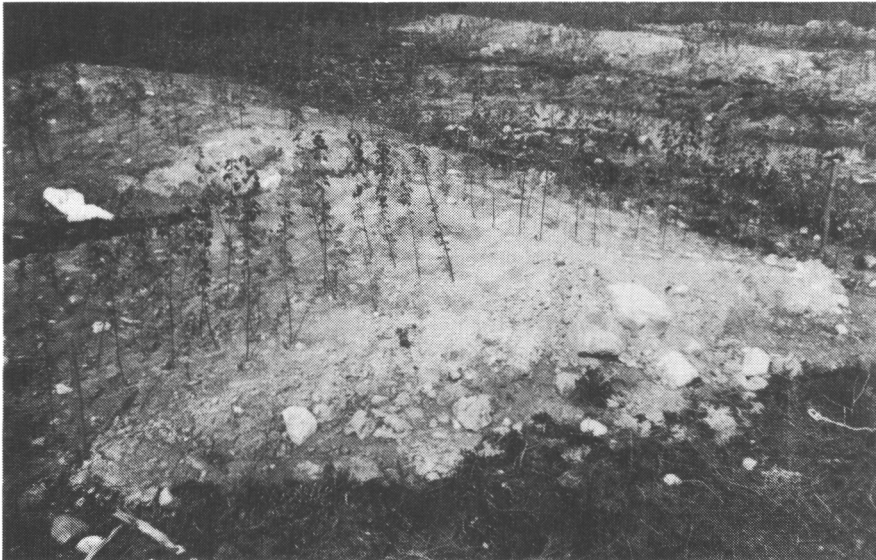
varsinaisia ojia ei kaivettu, koska ne eivät olleet kuivatuksen takia tarpeellisissa millään koealalla. Koealoille tehtiin harjakattoisen talon mallin mukaan matalia harjamättäitä ja pinnaltaan vaakasuoria patjamättäitä (kuva 4). Kaksilapaisen harjamättään sivut olivat pohjoiseen ja etelään. Mättään tehopinta oli 2,2 m x 4,0 m ja lakikorkeus 50 cm. Jokaiselle koealalle tehtiin viisi harjamätästä sekä 5 cm, 10 cm ja 20 cm paksuisia patjamättäitä, kolme kappaletta kutakin. Patjamättäiden tehopinta on 80 cm x 100 cm.

Taimet istutettiin 20.—27.5.1991. Harjamättäisiin taimet istutettiin riviin mättään yli 20—40 cm:n välein sekä lisäksi mättään ulkopuolelle muokkaamattomaan maahan ja laikkuun (kuvat 4 ja 5). Jokaiseen riviin meni 19 tainta. Samaa puulajia istutettiin kaksi riviä, eli kutakin puulajia istutettiin 38 tainta/harjamätäs. Edelleen harjamättäisiin kylvettiin rivi mäntyä ja rivi kuusta. Riviin käytettiin noin 400 siementä; so. yhden sentin välein yhteensä 2 g siemeniä/rivi. Kuhunkin patjamättääseen istutettiin kolme tainta/puulaji.

Kokeessa käytettiin seuraavia Suonenjoen taimitarhalla saatuja paakkutaimia: mänty 1Mk Ps508, kuusi 1Mk—1Ak Ps608, rauduskoivu 1M+½Mk—½Ak Fs808 ja hieskoivu ½Ms—½As. Kutakin puulajia istutettiin 1 332 tainta. Männyt ja hieskoivut olivat em. kasvatuskasvojen mukaan yksivuotiaita, kuuset ja rauduskoivut kaksivuotiaita. Männyt taimien keskipituus oli 13 cm, kuusen 24, rauduskoivun 73 ja hieskoivun 57 cm. Siementunnukset olivat: mänty Leppävirta T10-85-36 ja kuusi Kerimäki T 3-83-95. Kumpaakin kului koealojen kylvöön 60 grammaa.



Kuva 4. Koelan, harjamättään ja patjamättään kaavakuva. Harjamättääseen istutettiin paksuuksille 0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm ja 50 cm ja mättään vierelle tasapinnalle ja laikkuun 19 kpl kutakin puulajia kahteen riviin sekä kylvettiin mäntyä ja kuusta yhtenäisiksi riveiksi yli mättään. Patjamättääseen istutettiin kolme tainta kutakin puulajia. * = istutustaimen paikka.

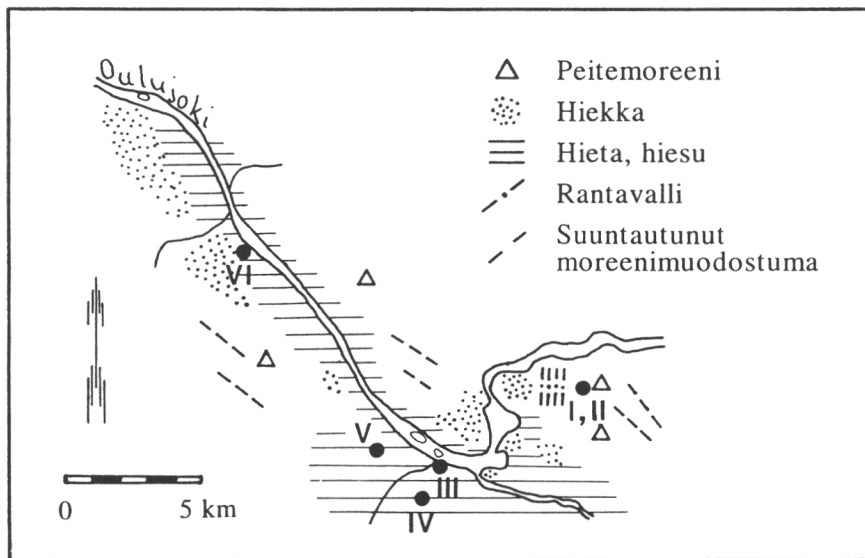


Kuva 5. Harjamättäitä koelalla I Muhoksen Pyhänsivulla voimajohtokadulla. Maa hiehtaista hiekkamoreenia. Kuva Esa Kurki.

2.2 Alueen kallio- ja maaperä

Oulujoen suosan eteläpuolella on peruskallion vajoamassa ns. Muhos-muodostuma (kuva 3). Tämän metamorfoitumattoman sedimenttikiven paksuus vaihtelee suuresti; Muhoksella paksuudeksi on mitattu 527 m (Enkovaara et al. 1953) ja Limingan Tupoksen kylässä 894,5 m (Kalla 1960). Myös Hailuodosta on löydetty Muhoksen vajoaman sedimenttikiviä (Veltheim 1969). Muhoksen muodostuman eri sedimenttikivien prosenttiosuudet ovat seuraavat: punainen ja ruskea savikivi 81,5 %, vihreä savikivi 11,1 %, hiekkakivi ja konglomeraatti 7,4 % (Korhonen & Porkka 1975). K-Ar- ja Rb-Sr-määrittysten mukaan sedimentin diageeneesiä iäksi on saatu 1 300—1 400 miljoonaa vuotta (Simonen 1980). Koealueet III, IV ja V sijaitsevat Muhos-muodostuman alueella. Alueen pohja ja lähiseudut ovat pääasiassa graniittia, edustaen prekarjalaista kallioperää. Koealueet I, II sekä VI ovat graniittialueella (kuva 3).

Muhoksen kirkonkylän koillispuolella kallioperän päälle on kerrostunut ohuehko noin kahden metrin paksuinen peitemoreenikerros (kuva 6). Koealueet I ja II sijoittuvat tälle alueelle. Alueella ovat vaikuttaneet rantavoimat, mikä näkyy mm. siinä, että moreenin pintaosa on huuhtoutunutta ja löyhempää kuin syvemmällä oleva hienojakoisempi ja tiiviimpi moreeniaines. Lisäksi koealoista noin kilometri luoteeseen on nähtävissä lajittuneen aineksen rantavalleja. Alueella nähtävä moreenimuodostumien luodekaakkosuuntaus on sama kuin uurrehavaintojen perusteella määritetty mannerjäätikön virtaussuunta (Sauramo 1926). Puusto on pääosin mäntymetsää (Ylimannila 1970).



Kuva 6. Tutkimusalueen maaperä ja koealojen sijainti.

Edellä esitetyn alueen ja Muhoksen kirkonkylän kaakkois- ja eteläpuolelle sijoittuvan rantavalleista, hiekkasärkistä ja dyneistä koostuvan alueen välissä on topografialtaan verrattain tasainen alue, joka koostuu pääosin hiedasta ja hiesusta. Koealat III, IV, V ja VI ovat tällä alueella (kuva 6). Koealaa III perustettaessa todettiin, että paikalla oli noin 1,5 metrin kerros muualta tuotua hienojakoista täytemaata. Määttää tehtiin siitä ja sen alla olleesta tumman harmaasta sulfidihiesusta sekoittaen. Myös koealalla VI oli

sulfidihiesua ohuen turvekerroksen alla. Purokosken (1958) mukaan nämä sulfidipitoiset kerrostumat ovat peräisin Litorinameren ajalta eli ne ovat noin 7 000—4 000 vuotta vanhoja. Litorinakauden lämpömaksimin aikana elintoiminta meressä oli vilkasta, ja sen ajan sedimentit sisältävätkin runsaasti orgaanista ainesta ja rikkiä. Koealan IV maan pintaosassa oli noin puolen metrin syvyyteen asti täytemaata. Sen alla oli heikosti vuosikerrallista punaharmaata glasiaalihiesua, jota oli myös koealalla V. Lustosavi ja -hiesu ovat kerrostuneet Ancyclus-jääjärveen ja ne edustavat siten sulfidihiesua vanhempaa kerrostumisvaihetta (Eronen 1983).

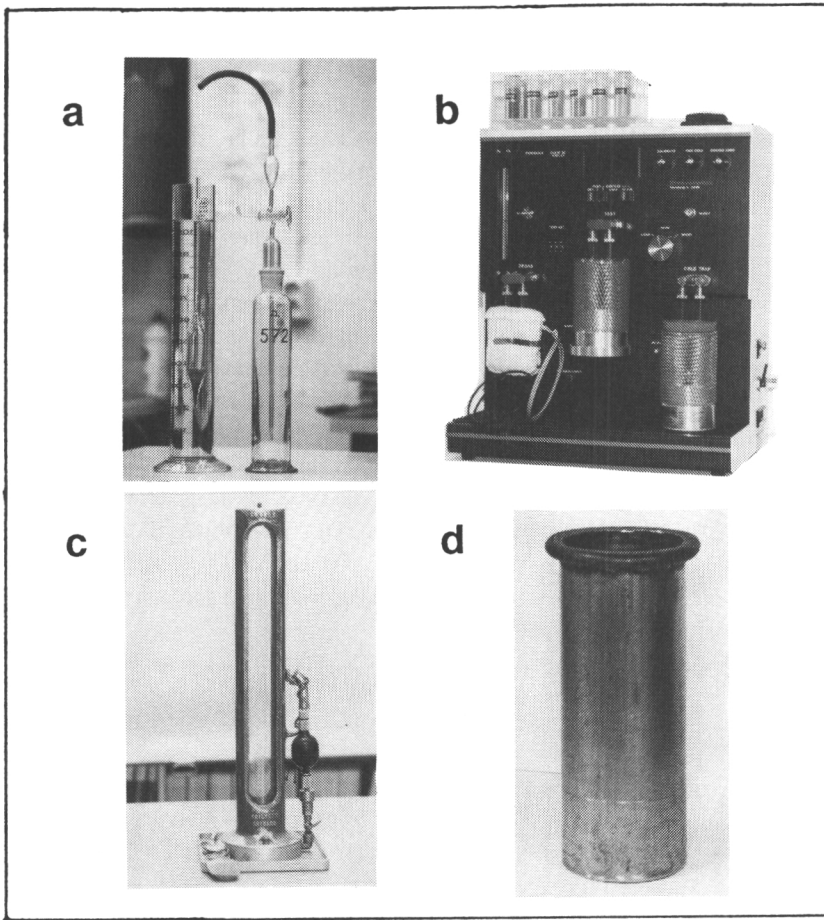
2.3 Laboratorio- ja kenttämittaukset

Maanäytteiden analyysit tehtiin kirjallisuudessa yleisesti esitettyjen ohjeiden mukaan (mm. Soveri & Kauranne 1972, Helenelund 1979 ja Rantamäki et al. 1987). Analyysien yksityiskohtaiset ohjeet esitetään Revon (1993) julkaisussa. Seuraavassa laboratoriomittaukset ja niihin verrattavat maastomittaukset esitellään lyhyesti.

Maalajista riippuen sen rakeisuus määritetään eri menetelmillä. Karkeiden maalajien rakeisuusmäärittäminen tapahtuu pesuseulonnalla ja hienojen maalajien joko areometrikokeella tai Andreasenin pipettimenetelmällä (kuva 7 a). Jos maanäytteen humuspitoisuus on yli 2 %, poistetaan humus ennen rakeisuuden määrittämistä märkäpolttomenetelmällä. Areometrimenetelmässä näyte (50 g savea/silttiä tai 100 g moreenin hienoainesta) lietetään tislattuun veteen ja peptisaattoriliuokseen. Areometri asetetaan lietteeseen tiettyinä hetkinä kokeen alkamishetkestä lukien (2 min, 6 min, 20 min, 1 h, 4 h ja 1 vrk). Kutakin areometrin uppoamislukemaa vastaavat raekoot ja läpäisyprosentit saadaan valmiista taulukosta. Pipettimenetelmässä näyte (10 g savea/silttiä tai 20 g moreenin hienoainesta) lietetään natriumpyrofosfaattiin ja tislattuun veteen. Pipetillä otetaan suspensiosta 10 ml:n näyte määrätyin aikavälein (2 min, 4 min, 8 min, 16 min, 32 min, 64 min, 128 min, 256 min ja 512 min ja 1 vrk). Näyte kuivataan 105 asteessa, jäädytetään ja punnitaan. Näytteenottoaikojen ja näytteiden painojen perusteella saadaan raekoot ja niitä vastaavat läpäisyprosentit valmiiksi laaditusta taulukosta.

Maan hienoaineksestä määritettiin ominaispinta-ala eli yhden maagramman kokonaispinta typpiadsorptioon perustuvalla ominaispinta-ala-analyysaattorilla Micro Meritics malli Flowsorb II 2300 (kuva 7 b). Mittauksessa maan hienoainenäytteen suuruus on noin yksi gramma. Laite mittaa sen typpimäärän, mikä kuluu kaiken pinnan peittämiseen yksimolekylaarisella kerroksella. Ominaispinnan soveltuvuutta maan ominaisuuksien kuvaamiseen ei ole toistaiseksi riittävästi selvitetty. Se voi kuvata tiettyjä nimienomaan metsänviljelyn tulokseen vaikuttavia maan ominaisuuksia paremmin kuin hienoainesusuus. Näytteen käsittely ja mittaus vie aikaa vain noin kymmenesosan siitä mitä kuluu areometri- ja pipetointimenetelmässä.

Kivennäismaan vesipitoisuus prosentteina kuivapainosta määritetään kuivatusmenetelmällä, jossa luonnonkosteaa näyte kuivataan yön yli lämpökaapissa 80 asteen lämpötilassa. Näin kuivatetun näytteen vesipitoisuus ilmaisee parhaiten sitä maan vesipitoisuutta, jonka kasvit pystyvät käyttämään hyväkseen. Turpeen (koeala VI:n pintamaa) vesipitoisuusprosentti laskettiin märkäpainosta turpeella yleisesti käytetyn tavan mukaan. Maalajin humuspitoisuus määritettiin polttouunimenetelmällä. Tässä työssä määritettiin lisäksi maanäytteiden kokonaishuokoisuus. Se saadaan kaavasta, kun häiriintymätön maanäyte, jonka tilavuus kosteana tunnetaan, kuivataan ja punnitaan. Näin laskettiin näytteiden huokoisuudet kokoonpuristumismittauksen (ödometrikokeen) yhteydessä ja muista häiriintymättömistä näytteistä, joiden tilavuus tunnettiin. Samalla laskettiin näytteiden vesipitoisuuden suhde kokonaishuokoisuuteen eli kyllästysaste.



Kuva 7. *a* = maan hienoainesosuuden määrittämiseen käytetty areometri (vasen) ja pipetti (oikea), *b* = maan ominaispinnan määrittäyslaitte, *c* = maan tilavuuspainon määrittämiseen käytetty vesivolymetri ja *d* = maan vedenläpäisevyyden mittaamiseen käytetty molemmista päistä avoin teräslieriö. Kuvat Ossi Juvonen.

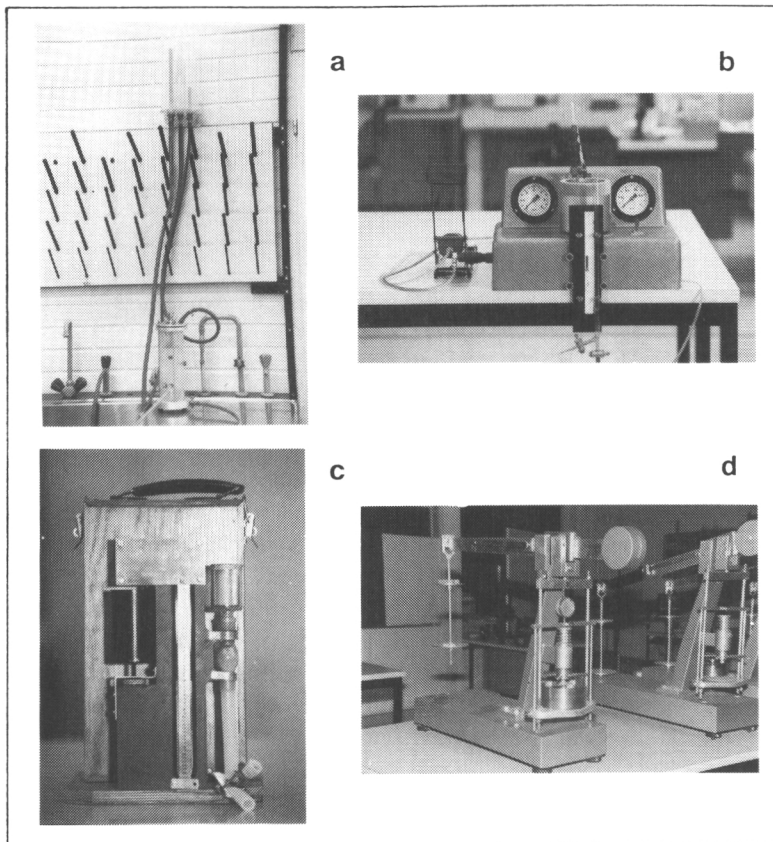
Maan luonnontilainen tilavuuspaino määritettiin maastossa vesivolymetrillä (kuva 7 c). Vedellä täytetyn volymetrin alle kiinnitetään kumisukka, laite puristetaan tasattua maanpintaa vasten ja pumppauksen jälkeen pannaan muistiin sukan tilavuus. Pohjan alle kaivetaan kuoppa ja maa otetaan talteen. Sukka pumpataan taas täyteen vettä, jolloin se asettuu tarkalleen kuopan seinämiä pitkin. Tilavuus luetaan. Maan kuivapainosta ja sukan tilavuuslukemista lasketaan tilavuuspaino. Koelalla I toisessa mittauksessa oli ilmeisesti epätarkkuutta, sillä tulos ei ole oikea; ks. jäljempänä kohta 3.8. Pumppaus kuopan seinämiä vasten ei liene ollut riittävä. — Tilavuuspaino määritettiin myös laboratoriossa. Siinä käytettiin näytteenottolaitteella saatuja häiriintymättömiä maanäytteitä, joiden tilavuus ja massa tunnettiin. Näytteen poikkileikkausala oli 19,6 cm².

Myös vedenläpäisevyyttä tutkittiin sekä maastossa että laboratoriossa. Maastossa määrittäminen tapahtui lieriön (kuva 7 d) avulla ja laboratoriossa maalajista riippuen joko vakio- tai muuttuvan paineen kokeella. Avoin teräslieriö, jonka sisähalkaisija on 11,1 cm, lyödään maahan viiden sentin syvyyteen eli merkkiviivaan asti. Yksi litra vettä kaadetaan lieriöön ja mitataan aika, jolloin kaikki vesi on imeytynyt maahan. Jos vesi ei ole imeytynyt tunnissa, kaivetaan lieriö varovasti maasta ja estetään samalla veden valuminen. Lieriöön jääneen veden määrä mitataan.

Laboratoriossa koealojen I ja II maan vedenläpäisevyys mitattiin vakiopainemittarilla (kuva 8 a). Menetelmä sopii karkearakeisten ja moreenimaalajien vedenläpäisevyyden määrittämiseen. Laitteen sylinteriin seula-verkkojen ja suodatinkerrosten väliin sullotaan tutkittava näyte, jonka korkeus mitataan. Sylinterin poikkileikkausala tunnetaan. Sylinteri täytetään vedellä, suljetaan vesitiiviillä kannella ja liitetään letkulla ylävesisäiliöön, joka täytetään vedellä merkkiin asti. Vesipinnan korkeus eli mitattu painekorkeus on 120 cm. Vettä lasketaan näytteen läpi ja virtauksen tasaannuttua kerätään tietynä aikana mittalasiin kertynyt vesi. Lisäksi mitataan veden lämpötila ja painekorkeus. Vedenläpäisevyyserroin lasketaan kaavan avulla.

Koealojen III—VI maan vedenläpäisevyys määritettiin muuttuvan paineen kokeella. Menetelmä sopii tiiviiden ja hienojakoisten maiden vedenläpäisevyyden mittaamiseen. Laite on painekapillaarimetri (kuva 8 b). Näyterenkaassa oleva häiriintymätön maanäyte asetetaan huokoslevyn ja -paperin päälle. Painekammio pannaan näytteen ympärille. Eri paineita (0,2 kp/cm², 0,4 kp/cm² ja 0,6 kp/cm²) käyttämällä mitataan mittalasista tietyn ajan kuluessa näytteen läpi virrannut vesimäärä. Veden lämpötila mitataan. Vedenläpäisevyyserroin lasketaan samoin kuin vakiopainemenetelmässä.

Maan ilmanläpäisevyys mitattiin verenpainemittarista kehitetyllä mittauslaitteella. Mittariin letkulla kiinnitetty teräslieriö, jonka halkaisija on viisi senttiä, työnnetään maastossa tutkittavaan maahan, nostetaan paine 200 Hg-mm:iin ja avataan sulkija. Mitataan se aika, joka kuluu paineen alenemiseen noltaan.



Kuva 8. a = vakiopainemittari karkean maan vedenläpäisevyyden mittaamiseen, b = painekapillaarimetri hienojakoisen maan vedenläpäisevyyden ja kapillaarisuuden mittaamiseen, c = kapillaarimetri, jolla mitataan karkean maan kapillaarisuus ja d = ödometri, jolla mitataan maan kokoonpuristuvuutta. Kuvat Ossi Juvonen.

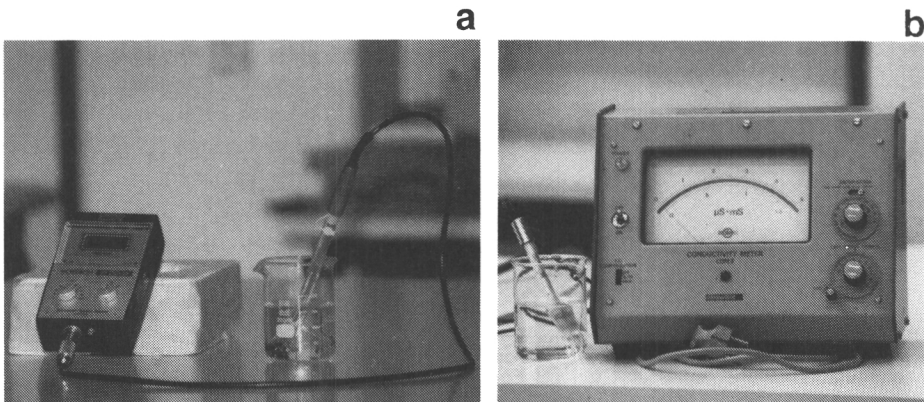
Veden kapillaarisen nousukorkeuden mittaamiseen käytettiin kahta menetelmää. Karkearakeisen maalajin kapillaarisen nousukorkeuden määrittäminen tapahtui kapillaarimetrillä, kun taas hienojakoisen maan kapillaarisuus määritettiin vedenläpäisevyysmittausten yhteydessä painekapillaarimetrillä. Kapillaarimetrissä (kuva 8 c) vedellä kylästetyn maanäytteen alle muodostetaan alipaine. Näytteen eri puolilla vallitsevan paine-eron takia ulkopuolinen ilma pyrkii murtautumaan kapillaarista vettä sisältävän näytteen läpi. Murtautumisen aiheuttama paine-ero vesipaineeksi muutettuna vastaa kapillaarista imukykyä ja on siten sama kuin veden kapillaarinen nousukorkeus. Hienojakoisten maiden kapillaarisuus mitattiin painekapillaarimetrillä (kuva 8 b). Siinä näytteeseen syötetään painetta niin paljon, että ilma tunkeutuu näytteen läpi. Saavutettu paine vastaa kapillaarista nousukorkeutta.

Häiriintymättömien maanäytteiden kokoonpuristumista seurattiin ödometrikokeella (kuva 8 d). Tutkittava näyte on teräslieriössä vesialtaaseen upotettuna. Sitä puristettaessa vesi pääsee poistumaan huokoisten päätylevyjen läpi. Kokoonpuristava jännitys saadaan aikaan laitteen painotelineelle asetettavilla painoilla, jotka vipumeکانismilla aiheuttavat puristusjännityksen. Maan kokoonpuristuminen rekisteröidään pitenevin aikavälein 10 sek, 15 sek ja 30 sek, 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 15 min ja 30 min, 1 h, 2 h ja 4 h sekä 1 vrk:n kuluttua kuormituksen aloittamisesta. Kuormitus lisätään 2-, 4-, 8-, 16- ja 32-kertaiseksi ja havaintosarja uusitaan. Lukemien perusteella piirretään kuormitus-kokoonpuristumiskäyrä.

Maanäytteiden pH mitattiin WTW pH DIGI 88 mittarilla (kuva 9 a). Näyte lietetään veteen. Yhdistelmäelektrodi upotetaan lietteeseen ja pH-arvo luetaan mittarin näytöstä. Sähkönjohtokyky mittari oli CDM 3 (kuva 9 b). Näyte lietetään veteen. Määrittyskapseli CDC 304 upotetaan lietteeseen. Mittarin näyttö luetaan.

Edellä mainitut mittaukset tehtiin pääosaksi Oulun yliopiston geologian laitoksella. Muhoksen tutkimusasemalla tehtiin rakeisuusanalyysien toinen sarja ja mitattiin maan ominaispinta.

Pääosa mittauksista tehtiin laboratoriossa. Maastossa tehtiin edellä mainituista vesivolymetrimittaus, osa vedenläpäisevyden mittausta, ilmanläpäisevyden mittausta ja pH-arvon mittausta. Lisäksi maastossa mitattiin pohjaveden pinnan syvyys viikon välein 17 kertaa. Painokairalla tehtiin reikiin painettiin 20 mm läpimitaltaan olevat rei'itetyt päistään avoimet muoviputket, joista lukema saatiin mittanarulla. Maan normaali, maksimi- ja minimilämpötila mitattiin 5 cm:n syvyydestä määstä ja perusmaasta. Sademäärät ja ilman lämpötila saatiin Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemalta Muhokselta.



Kuva 9. a = pH-mittari, b = sähkönjohtokyky mittari. Kuvat Ossi Juvonen.

2.4 Taimien nosto ja mittaus

Ennen istutusta taimierästä otettiin jokaista puulajia 30 kappaleen satunnaisnäyte, joista mitattiin verson pituus ja juuristo-osan syvyys. Kasvukauden aikana mitattiin kaikkien taimien pituus sekä seurattiin kylvösten itävyyttä eri mätäspaksuuksilla. Juurten kasvunopeuden selvittämiseksi nostettiin elokuun alussa 1991 jokaiselta koelalta arvotusta mättäystä taimia, joista mitattiin verso-osan pituus ja juuriston syvyys. Loppumittauksissa laskettiin elävät ja kuolleet taimet. Kasvamaan jääneiden taimien pituus mitattiin myös elokuussa 1992, jolloin saatiin kyseisten taimien toisen kasvukauden pituuskasvu selville. Tällöin laskettiin myös elossaolevien kylvötaimien määrät harjamättäissä. Tarkemmin taimien mittauksista ks. Kurki 1994. Silmävarainen arviointi tehtiin vielä syksyllä 1993.

2.5 Aineiston käsittely ja tulosten ilmoittaminen

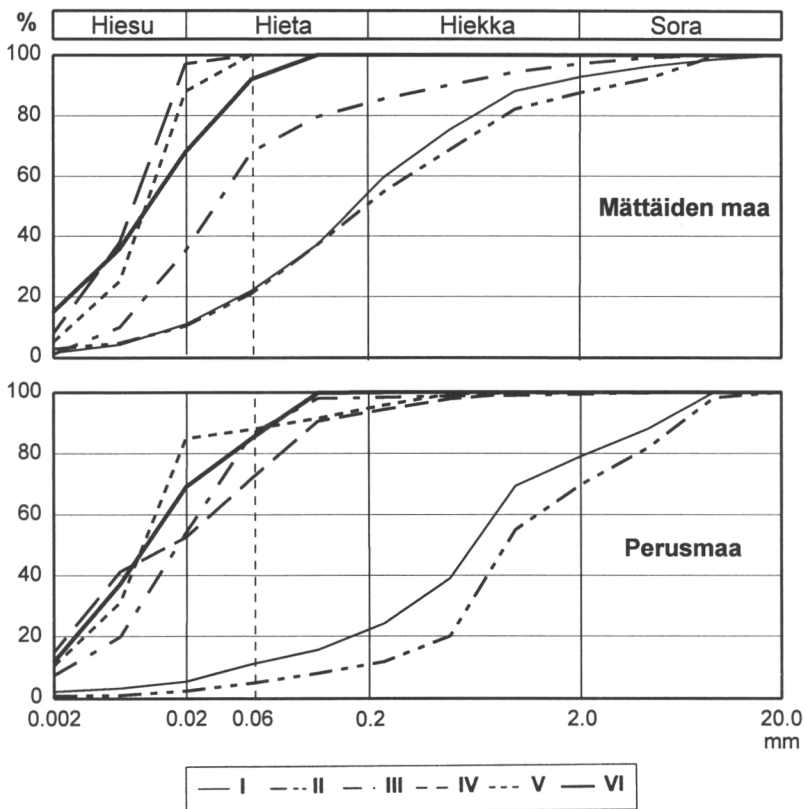
Analyysituloksia käsiteltiin SAS-ohjelmaa hyväksi käyttäen. Aineistosta laskettiin keskiarvoja ja prosenttiosuuksia. Varianssianalyysien jälkeen koesarjojen keskiarvoja verrattiin Tukeyn keskiarvotestillä. Tuloksissa lyhenteet P5...H50 tarkoittavat patjamättäitä ja harjamättäitä ja näytteenotokohdan mätäspaksuutta. Merkintä .. tarkoittaa, että tietoa ei ole saatu.

3. Tutkimustulokset

3.1 Raekoostumus

Ennen koalojen perustamista otettiin niiden kohdalla edustavaksi arvioitu maanäyte 0—10 cm:n syvyydestä rakeisuusanalyysiä varten. Näytteet analysoitiin Muhoksen tutkimusasemalla. Koalan perustamisen jälkeen otettiin toinen näytesarja harjamättäistä. Ne analysoitiin Oulun yliopiston geologian laitoksella. Tulokset poikkeavat toisistaan jonkin verran (kuva 10). Jälkimmäisen sarjan maanäytteet ovat keskimäärin vähän pintaa syvemmältä. Pintanäytteet ovat moreenimaalla karkeampia kuin syvemmältä otetut ja hienoainesosuudessa oli mahdollisesti jopa metsänuudistamistoimenpiteisiin vaikuttava ero. Lajittuneiden maiden koaloilla IV—VI erot olivat pieniä eikä niillä liene käytännöllistä merkitystä. Koalalla III ero oli suurin. Perusmaa oli hienompaa kuin mättään maa. Koska taimet pääosaksi kasvoivat mättäissä, kaikki jäljempänä esitettävät tulokset ja tulkinnat perustuvat geologian laitoksella Oulussa saatuihin tuloksiin eli kuvan 10 ylempään osaan ja taulukon 1 ensimmäisiin sarjoihin (a-sarakkeet).

Koalojen I ja II maalajiksi saatiin hietainen hiekkamoreeni. Raekokoa 0,06 mm hienempien lajitteiden osuus koalan I moreenissa oli 22 % ja koalan II 21 % (taulukko 1). Savilajitteen eli alle 0,002 mm läpimittaisten lajitteiden vastaavat prosentiosuudet olivat 1,4 % ja 2,7 %. Koska koalan III mättäät sisälsivät silmämääräisestikin kahta eri karkeuksista ainesta, karkeampaa täytemaata ja hienompaa sulfidipitoista ainesta, jouduttiin pesuseulonta- ja areometrikäyrien yhdistämisessä käyttämään käyrien korjausmenetelmää. Koalan III maalaji oli hiesuinen hieta, josta 68 % oli alle 0,06 mm läpimittaisia lajitteita. Savifraktion osuus oli 1 %. Koalojen IV ja V maalaji oli hiesua. Savilajitteen osuus koalan IV hiesussa oli 8 % ja koalan V hiesussa 5 %.



Kuva 10. Maan rakeisuuskäyrät.

Taulukko 1. Maalajit ja hienoainesosuudet (< 0,06 mm). a = mättäiden maa, b = perusmaa.

	Maalaji		Hienoainesta, %	
	a	b	a	b
Koela I	htHkMr	Hk	22	11
Koela II	htHkMr	srHk	21	5
Koela III	hsHt	htHs	68	85
Koela IV	Hs	htHs	100	72
Koela V	Hs	saHs	100	89
Koela VI	saHs	saHs	92	85

Lyhenteiden selitys: Mr = moreeni, Hk = hiekka, Ht = hieta, Hs = hiesu, sr = sorainen, ht = hietainen, hs = hiesuinen ja sa = savinen.

Koelan VI pinta oli ohuen turpeen peittämä, mutta sitä ei otettu mättäisiin. Turpeen alaisessa savisessa hiesussa savilajitteen osuus oli 15 %. Hietaa oli 32 %, ja se yhdessä runsaan saven kanssa lieventää hiesun taimille haitallisia ominaisuuksia.

3.2 Ominaispinta

Kivennäismaan raesuuruusjakaantuma ei yksinään kuvaa riittävästi maan vesiominaisuuksia. Toinen ratkaiseva tekijä on rakeiden muoto ja siitä riippuva maan pinta-ala. Minimissä pinta-ala on silloin, kun rakeet ovat pallon muotoisia. Vain harvoihin rakeiden muoto on edes lähes pallomainen, vaan niiden pinnassa on onteloita ja kuoppia, jotka lisäävät pinta-alaa. Pelkästään jo rakeiden pieneneminen lisää maatilavuuden pinta-alaa. Esimerkkinä voidaan mainita, että 0,006 mm läpimitaltaan olevan tasarakenteisen pallomaisen hiesun kokonaispinta-ala yhdessä kuutiosenttimetrissä on 0,52 m², jos pallot ovat kuutiossa tasaisessa järjestyksessä. Vastaavasti tasa-rakeisessa savessa, halkaisija 0,001 mm, pintaa on 12,6 m². Pallon halkaisijan pienetessä kymmenesosaan tulee pinta-ala samassa tilavuudessa kymmenkertaiseksi. Tässä työssä mitatussa näytteessä koealan III (Koivikko) maassa oli savesta 6 %, hiesua 48 %, hietaa 45 % ja hiekkaa 1 %. Hienoainesosuus oli 85 %. Hienoainesmaan pinta oli 16 m²/g eli noin 30 m²/cm³. Se on 58-kertainen pallomaiseen keskiahiesuun verrattuna. Koska määrittäminen tehdään painoysiköstä, käytetään ominaisuudesta nimeä ominaispinta eikä kokonaispinta.

Ominaispinta mitattiin Muhoksen tutkimusasemalla ominaispinta-alamittarilla. Määrittämiä tehtiin 3—6 näytteestä koealalta. Koealan VI näytteistä ei mitausta tehty. Ominaispinnan lukuarvot osoittavat, että maalajitteilla on jyrkästi toisistaan poikkeavia ominaisuuksia (taulukko 2). Moreeneilla pintaa oli alle yhden neliömetrin ja hienojakoisella maalla 8—16 m²/g. Pinta vaikuttaa maan ominaisuuksiin ja voi kuvata mm. kasvupaikan sopivuutta metsänviljelyyn ja kasvupaikan vaatimia toimenpiteitä paremmin kuin rakeisuuskäyrä. Toistaiseksi arvojen tulkinta on epävarmaa.

Koealojen maan hienoainesosuuden ja ominaispinnan välinen korrelaatio jäi aineiston vähyyden takia selvittämättä. Tässä aineistossa se ei ollut ainakaan korkea. On todennäköistä, että ne yhdessä kuvaavat maan ominaisuuksia paljon paremmin kuin kumpikin yksinään. Pelkkä rakeisuusanalyysi ei kuvaa maan ominaisuuksia metsänviljelyratkaisuja varten riittävästi.

Taulukko 2. Maan ominaispinnan mittaustulokset.

	Hienoainesosuus %	Ominaispinta eri määrittämissä m ² /g					
Koeala I	11	0,71	0,71	0,72	0,73	0,75	0,76
Koeala II	5	0,80	0,81	0,83	0,84	0,84	0,85
Koeala III	85	15,2	15,5	15,9	16,1	16,1	16,1
Koeala IV	72	8,1	8,2	8,3	8,3	8,4	8,5
Koeala V	89	10,5	11,8	16,0			
Koeala VI	85						Ei mitattu

3.3 DC- ja refraktiometriset mittaukset

Mittaukset tehtiin Oulun yliopiston geofysiikan laitoksen DC-vastusluotaimella ja varsaraseismografilla. Päätarkoituksena oli pohjavesipinnan ja sen ohessa myös kalliopin-
nan syvyyden määrittäminen. Työ tehtiin 15.5.1991. Menetelmän nimi suomennettuna

on tasavirta- ja taittumisluaus (DC = direct current, tasavirta). Kahdella koealalla kalliota tai sedimenttipohjaa ei saatu esille.

Pyhänsivulla (koealat I ja II) kallio oli kahden metrin syvyydessä. Kuivakuorikerros ulottui yhden metrin syvyyteen, jossa oli pohjavesipinta. Koealalla III, Koivikko, oli DC-luotauksikäyrässä erotettavissa neljä kerrosta, joista alin taittui 4,5 metrin kohdalta. Se vastasi Muhosmuodostuman ominaisuuksia eli maaperän paksuus sedimenttikiven päällä on 4,5 metriä. Pohjavesipinta oli puolitoistametrinen täytemaakerroksen alalaidassa. Koealalla IV Matokorvessa luotauksikäyrä oli selväpiirteisin. Matalavastuksinen kerros, joka oli luokiteltavissa pohjavesipinnaksi, alkoi kahden metrin syvyydessä. Koealalla V tiilitehtaan alueella kuivakuorikerroksen paksuus oli yksi metri. Siitä alkoi pohjavesi. Muhos-sedimentin syvyys oli neljä metriä. Kerros yhdestä neljään metriin oli todennäköisesti hienojakoista silttiä tai savea. Koealalla VI Viskaalissa hiesukerroksen paksuus oli 3,5–4 metriä. Pohjavesi tuli vastaan 1,7 metrin syvyydessä. Se voi olla orsivettä. Hiesun alla oli moreenia.

3.4 Vesipitoisuus

Maan vesipitoisuuden määrittämistä varten näytteitä otettiin yhdeksän kertaa noin kahden viikon välein. Jokaisella näytekerralla otettiin 5 cm syvyydestä kolme näytettä patjamättäistä, yksi kustakin eri korkuisesta patjamättäistä sekä viisi näytettä harjamättäistä seuraavista kohdista: harjan laelta (50 cm), harjan etelä- ja pohjoissivuilta mätäspaksuudelta 25 cm, joko etelä- tai pohjoissivulta mätäspaksuudelta 5 cm sekä laikusta (josta tässä käytetään nimitystä 'perusmaa') samalta sivulta kuin H5-näyte (Perusmaa E/P). Kaikki patja- ja harjamättäät käytiin läpi kesän aikana (kuva 11).

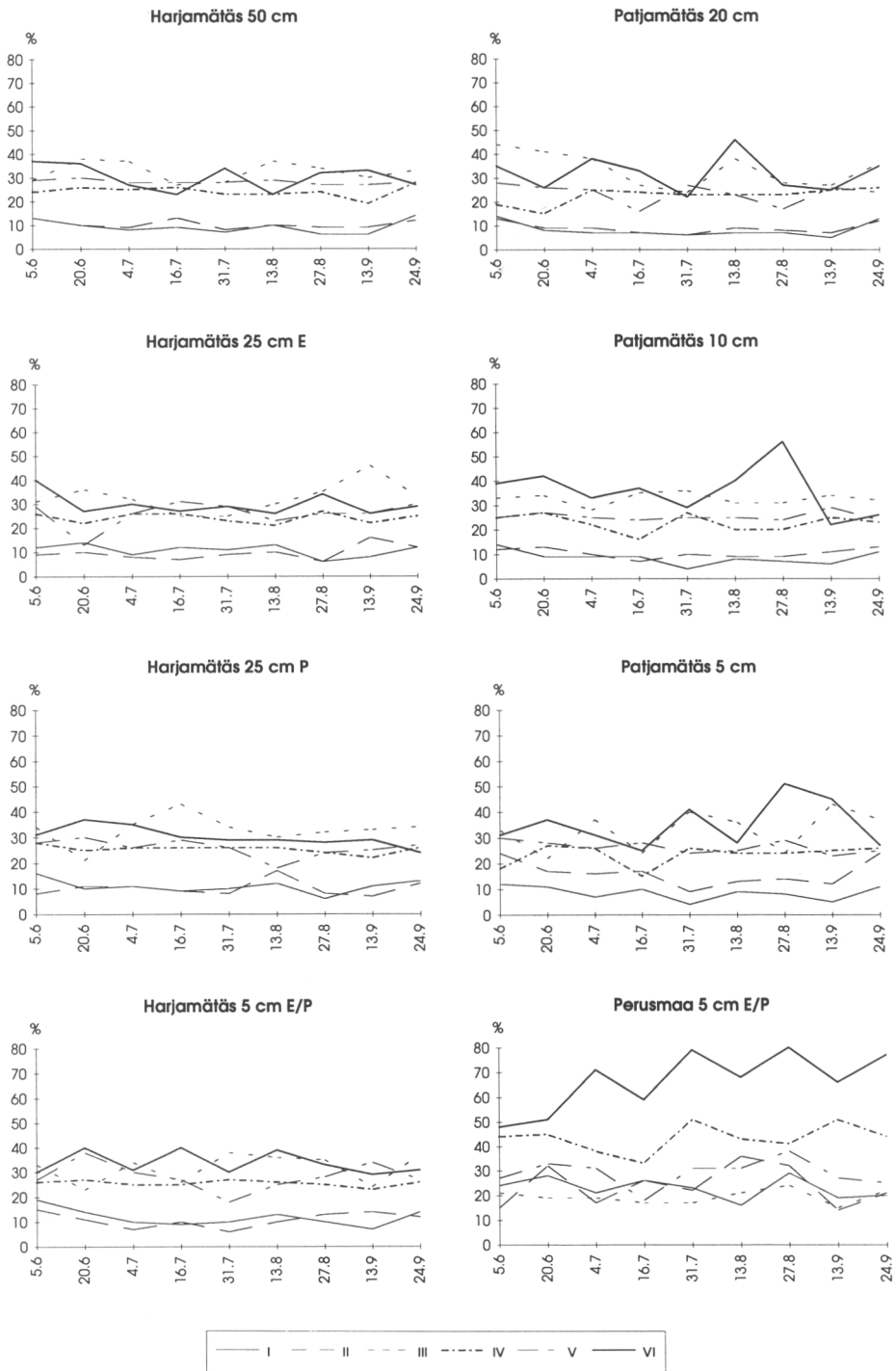
Moreenikoealojen I ja II niin patja- kuin harjamättäidenkin vesipitoisuudet olivat koko kesän muita maalajeja pienempiä. Moreenin vesipitoisuudet vaihtelivat tavallisesti 10 %:n molemmin puolin lukuunottamatta perusmaanäytteitä, joiden vesipitoisuudet olivat suuremmat. Koealan I perusmaan vesipitoisuus erosikin muista sen koealan näytekohdista tilastollisesti merkitsevästi. Koealalla II perusmaan lisäksi myös näytekohda P5 eroaa muista sen koealan näytekohdista tilastollisesti merkitsevästi. Laskettujen keskiarvojen mukaan koealan I patjamättäät ovat harjamättäitä kuivempia, kun taas koealalla II kuivimmat kohdat ovat 20 cm:n korkuiset patjamättäät sekä harjamättään sivut 25 cm:n kohdalla.

Koealan III hiesuisen hiedan vesipitoisuudet vaihtelivat 20 %:n ja 44 %:n välillä. Toisista koealoista poiketen perusmaassa vesipitoisuudet olivat pienemmät kuin mätäissä. Ero oli tilastollisesti merkitsevä. Suurimmat vesipitoisuuskeskiarvot mitattiin 20 cm ja 5 cm korkuisista patjamättäistä.

Hiesukoealojen IV ja V vesipitoisuudet vaihtelivat noin 15 %:n ja 40 %:n välillä. Koealan IV perusmaa erosi koealan mättäistä mitatuista hyvin samankaltaisista vesipitoisuuksista tilastollisesti merkitsevästi suuremman vesipitoisuutensa vuoksi. Koealan V vesipitoisuudet eivät poikkea toisistaan tilastollisesti.

Koealan VI savisen hiesun vesipitoisuudet vaihtelivat kesän aikana muita enemmän, mätäissä 20 %:n ja 50 %:n ja perusmaassa 50 %:n ja 80 %:n välillä. Ero perusmaan ja mättäiden vesipitoisuuksien välillä onkin tilastollisesti merkitsevä. On huomattava, että koealan VI perusmaa oli nurmenalaista turvetta, ja tästä syystä perusmaan vesipitoisuudet laskettiin näytteiden märkäpainosta, ei siis kuivapainosta, kuten kivennäismaanäytteiden kohdalla tehtiin. Ero mättäiden ja perusmaan vesipitoisuuksien välillä on siis todellisuudessa mittattua vieläkin suurempi.

Ilmansuunnalla ei vesipitoisuuksiin ollut merkitystä. Millään koealalla etelä- ja pohjoissivun näytteiden vesipitoisuuksissa ei ollut tilastollisia eroja.

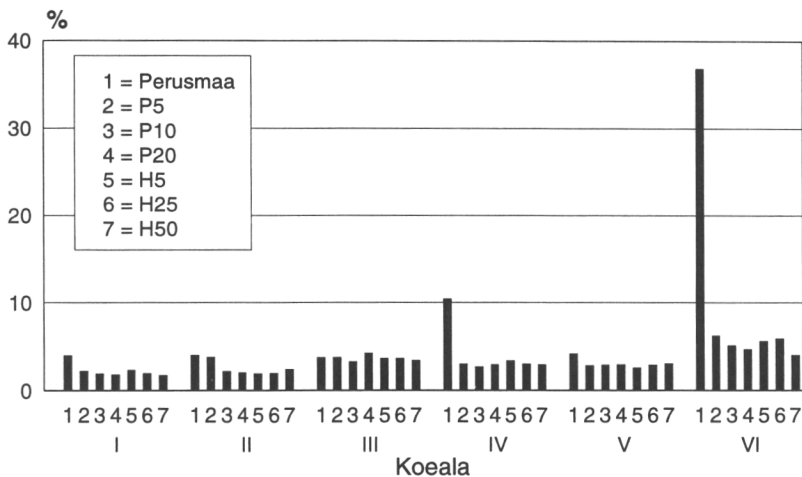


Kuva 11. Maan vesipitoisuudet 5.6.—24.9.1991 prosentteina kuivapainosta paitsi koe-
alan VI perusmaan märkäpainosta (turvetta). E = etelälape, P = pohjoislape.

3.5 Hehkutushäviö

Kunkin koalan jokaisesta mättäystä sekä laikusta määritettiin maan hehkutushäviö (kuva 12). Se oli yleensä 2—5 %:n tienoilla. Lukuunottamatta koalan III hiesuista hietaa perusmaan hehkutushäviöt olivat mätäsmaan hehkutushäviöitä suurempia. Koalan VI hehkutushäviöt olivat suurempia kuin muiden koalojen, sillä maan pinnassa oli ohuelti turvetta. Ero on tilastollisesti merkitsevä.

Koalojen I, II ja III hehkutushäviötulokset ovat myös niiden humuspitoisuuksia. Muiden koalojen maan oikean humuspitoisuuksien saamiseksi on tuloksista vähennettävä näytteestä hehkutettaessa poistuneen kideveden määrä. Humuspitoisuudet saadaan, kun koalan IV hehkutushäviötuloksista vähennetään 0,2 prosenttiyksikköä, koalan V 0,05 prosenttiyksikköä ja koalan VI 1,25 prosenttiyksikköä. Nämä ovat poltettaessa haihtuneita kidevesimääriä, jotka saadaan valmiista taulukosta, kun näytteen sisältämä savilajitteen osuus tunnetaan.



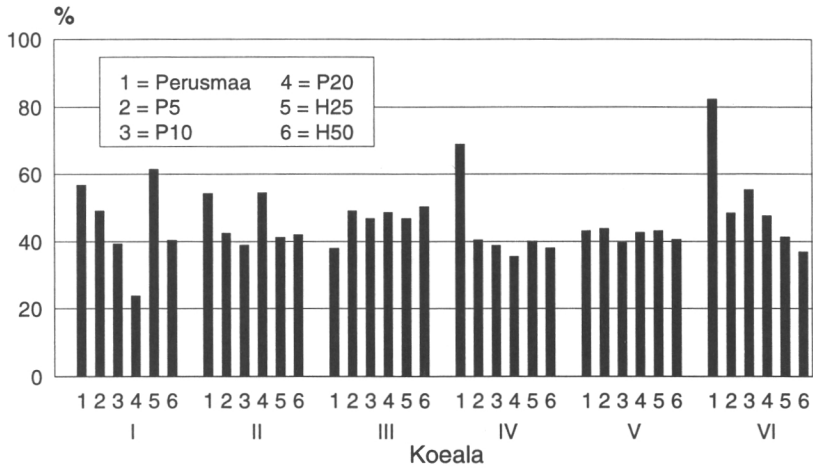
Kuva 12. Mättäiden keskiarvoiset hehkutushäviöt.

3.6 Huokoisuus

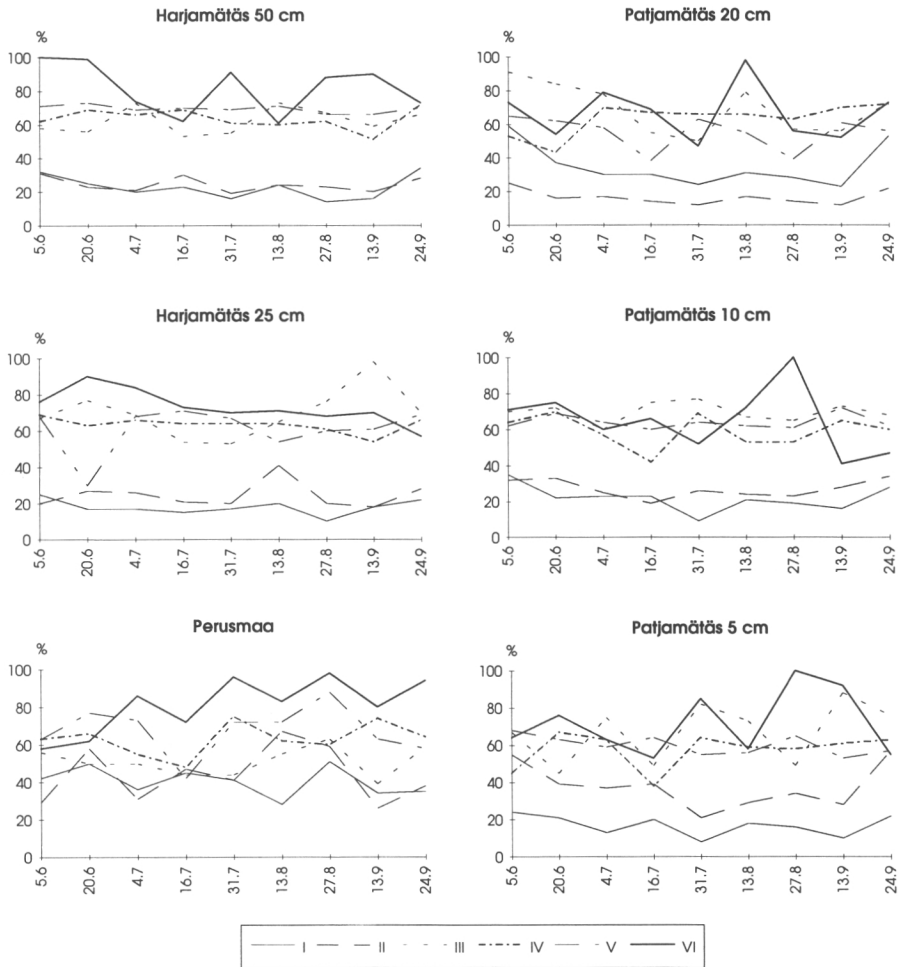
Huokoisuus eli maamassan tyhjätilan osuus määritettiin joko ödometrillä tehdyn puristuskokeen yhteydessä (ks. 3.12) tai laskettiin häiriintymättömistä näytteistä, joiden tilavuus ja massa olivat tiedossa. Huokoisuudet laskettiin näytteistä, jotka oli otettu 5 cm:n syvyydestä. Keskimäärin huokososuus oli 40—50 % eli kiintoainesta oli vastaavasti 60—50 % tilavuudesta (kuva 13).

Muista poiketen hietamaassa huokoisuus oli mättäissä suurempaa kuin perusmaassa. Koalan V hiesumättäiden huokoisuudet olivat hyvin samankaltaisia kuin perusmaan huokoisuudet. Koaloilla IV (hiesu) ja VI (savinen hiesu) mättäistä lasketut huokoisuudet taas olivat perusmaata paljon pienemmät.

Myös moreenikoaloilla I ja II perusmaa oli huokoista. Niiden koalojen perusmaan pintaosassa oli humuksen osuus korkea. Vähiten huokosia oli moreenikoalan I 20 cm:n korkuisessa patjamättäessä (24 %) ja eniten (82 %) koalan VI humuksisessa pintaossa, joka oli lähes turvetta. Maalajien väliset huokoisuudet eivät poikkea toisistaan tilastollisesti.



Kuva 13. Mättäiden maan huokoisuus.



Kuva 14. Mättäistä ja perusmaasta otettujen maanäytteiden vesipitoisuuden ja huokoisuuden mukaan laskettu kyllästysaste.

3.7 Kyllästysaste

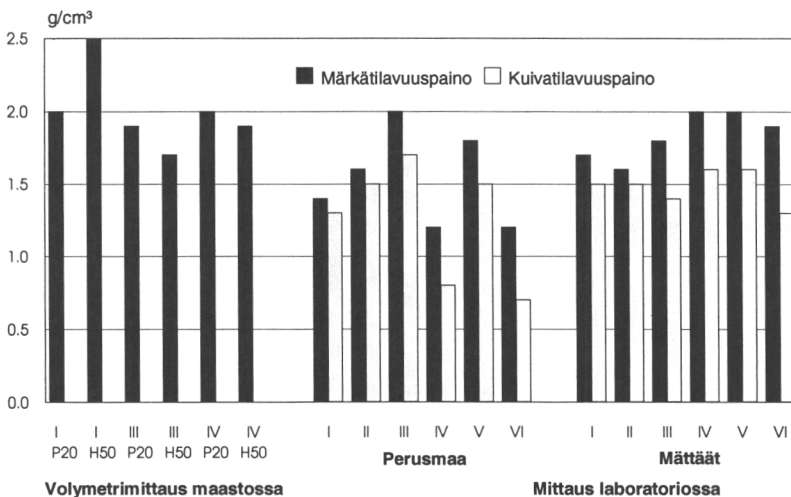
Kyllästysasteella tarkoitetaan veden täyttämän huokostilan osuutta koko huokostilasta. Se ilmoitetaan prosentteina. Vetoisuus saadaan vesipitoisuuden mittauksesta; ks. edellä 3.4. Kyllästysaste vaihtelee sateisuuden mukaan. Kesän aikana määritetyt kyllästysasteet vaihtelivat maalajista riippuen esimerkiksi 8 %:n ja 24 %:n välillä (kuva 14, ohut moreenimätäs) tai 52 %:n ja 68 %:n välillä (ohut hiesumätäs). Koealan VI savisen hiesun huokostila oli muita maalajeja enemmän veden täyttämää, ajoittain jopa kokonaan vedellä kyllästetty. Koealojen I ja II hietaisella hiekkamoreenilla oli maalajeista pienimmät kyllästysasteet, vaihdellen noin 10 %:n ja 50 %:n välillä. Hiesun ja hiesuisen hiedan kyllästysasteet eivät tilastollisesti eronneet toisistaan merkitsevästi. Moreenit, savinen hiesu sekä yhtenä ryhmänä hiesu ja hiesuinen hieta sen sijaan erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

3.8 Tilavuuspaino

Vesivolymetrillä määritettiin maastossa kolmen, selvästi toisistaan poikkeavan maala-
jin luonnontilaisen maanäytteen märkätilavuuspainot. Jokaiselta kolmelta koealalta mit-
taus tehtiin 20 cm:n ja 50 cm:n mätäspaksuudelta noin kymmenen sentin paksuisesta
pintakerroksesta (kuva 15). Näytteessä I H50 on ilmeisesti virhe, joka johtuu epätar-
kasta volymetrimittauksesta. Saadut tilavuuspainot eivät poikenneet toisistaan tilastol-
lisesti merkitsevästi, vaikka maalajit ovat hietaista hiekkamoreenia, hiesuista hietaa ja
hiesua.

Laboratoriossa määritettiin kaikilta koealoilta otettujen 4—5 häiriintymättömän näyt-
teen märkätilavuuspainot ja laskettiin kuivatilavuuspainot vesipitoisuuden mittaami-
sen jälkeen (kuva 15). Koealan V hiesu ja koealan III hiesuinen hieta olivat muita pai-
navampia. Perusmaa oli keskimäärin kevyempää kuin mättäiden maa. Erot eivät olleet
tilastollisesti merkitseviä. Koealojen IV ja VI perusmaassa orgaanisen aineksen osuus
oli korkea, ja siksi niiden kuivatilavuuspaino jää alle yhden.

Luonnontilassa maan tilavuuspaino oli hiesussa ja hiedassa alle 2 g/cm³ ja moreenissa
mittauksen mukaan 2 g/cm³ ja 2,5 g/cm³. Luku 2,5 on mittalaittehäiriön takia virheellinen,
sillä esimerkiksi graniitin tilavuuspaino on 2,7—2,8 g/cm³. Mättäissä maa oli keski-



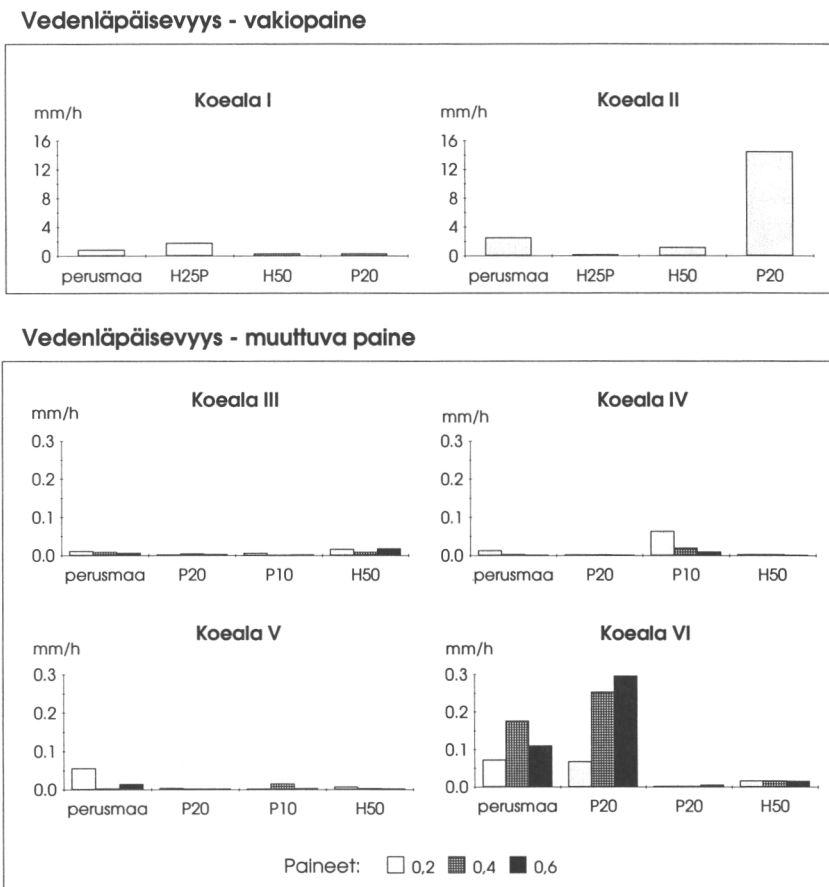
Kuva 15. Maan tilavuuspainot.

määrin painavampaa kuin ennen mättäiden tekemistä niiden paikalta otettu luonnontilainen perusmaa. Perusmaassa oli jonkin verran humusta, ja lisäksi mättäiden maa tiivistettiin kaivurin kauhalla ja lapiolla. Se selittää painoeron.

3.9 Vedenläpäisevyys

Vedenläpäisevyydellä tarkoitetaan kokeessa saavutettua veden etenemisnopeutta maanäytteessä. Se mitattiin kolmella tavalla: laboratorioissa karkeista maista vakiopainekokeella ja hienoista maista muuttuvan paineen kokeella sekä maastossa kaikilla koealoilla vesisylinterin avulla. Maata ei kuivattu ennen koetta. Laboratoriomittausten jokainen tulos on usean näytteen mittauksen keskiarvo.

Moreenikoealojen I ja II maasta vakiopainekokeella 20 asteen lämpötilassa määritetyt hietaisen hiekkamoreenin vedenläpäisevyydet vaihtelivat tunnissa millimetrin osien ja kahden millimetrin välillä. Vain paksun patjamättään maa oli läpäisevää (14 mm). Keskimäärin veden etenemisnopeus oli siis hyvin hidas. Keskimääräisesti koealan I moreeni läpäisi vettä hieman huonommin kuin koealan II moreeni; ero ei tilastollisesti ollut kuitenkaan merkitsevä. Koealan II moreeni oli hiekkaisempaa ja karkearakaisempaa kuin alan I moreeni.



Kuva 16. Laboratoriossa määritetyt maan vedenläpäisevyydet. Moreenimaista (koealat I ja II) määrittäminen tehtiin vakiopaineella ja hienojakoisista maista (III - VI) paineilla 0,2 kp/cm², 0,4 kp/cm² ja 0,6 kp/cm².

Koealojen III—VI eli hienojen maiden vedenläpäisevyydet määritettiin 20 asteen lämpötilassa muuttuvan paineen kokeella. Maat olivat lähes vettäläpäisemättömiä (kuva 16). Parhaiten vesi läpäisi koeala VI:n turpeisen perusmaan ja saman koealan paksuimman patjamättään maan. Siinä oli ehkä jo syntynyt savipitoisuudesta johtuvaa mururakennetta. Hitaimmin vesi eteni koealan III hiesuisessa hiedassa. Tilastollisesti arvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan. Paineen lisääminen kaksin- ja kolminkertaiseksi ei keskimäärin lisännyt veden etenemisnopeutta.

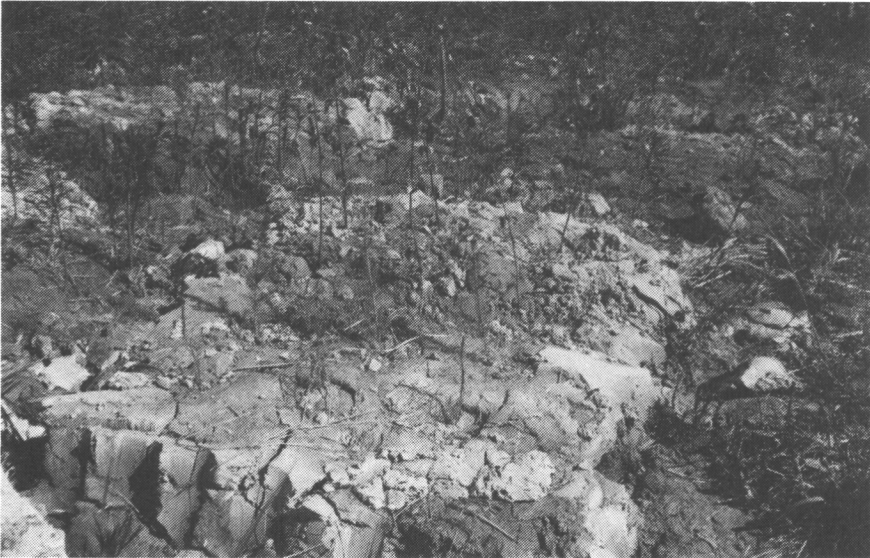
Maastossa vesisylinterillä suoritettujen vedenläpäisevyydsmittausten perusteella (taulukko 3) voidaan tehdä laboratoriossa saatujen tulosten kanssa samansuuntaisia johtopäätöksiä. Varsinkin koealojen IV ja V hiesumättäät olivat ainekseltaan huonosti vettäjohtavia. Tunnissa vedestä imeytyi jopa vain muutama prosentti. Moreenikoealoista koealan II materiaali johti vettä hieman paremmin kuin koealan I, varsinkin silloin, kun mittausta tehtiin silmämääräisesti hiekkaisessa kohdassa. Koealan III vedenläpäisevyydet vaihtelivat suuresti. Syynä tähän olivat rakoilleet kohdat mättäissä sekä se, että mättäät tehtiin sekoittamalla kahdesta erilaisesta materiaalista, puolitoista metriä paksun ajomaakerroksen hiedasta ja sen alaisesta sulfidihiesusta. Koealan VI perusmaa läpäisi vettä mättäitä paremmin, sillä turve oli kivennäismaata läpäisevämpää. Mittauskertojen tulosten perusteella mättäät olivat hieman tiivistyneet heinäkuulta lokakuulle. Syysstateiden merkitys on myös otettava huomioon myöhemmin syksyllä mitattujen tulosten tarkastelussa. — Kokonaisuutena vedenläpäisevyyden vaihtelu oli suuri. Koealan VI perusmaan pintaturpeeseen litra vettä imeytyi runsaassa minuutissa, mutta samalla koealalla mättään harjalla oli litrasta vettä tunnin kuluttua jäljellä vielä 95 %.

Taulukko 3. Maastossa heinäkuussa ja lokakuussa mittasylinterillä mitatut vedenläpäisevyydet. Selitys: aika, jolloin yksi litra vettä on imeytynyt maahan. Jos imeytyminen ei ole tapahtunut tunnin kuluessa, on ilmoitettu sylinteriin jäänyt vesimäärä.

Koeala +mätäs	Maastossa mitattu vedenläpäisevyys		Koeala +mätäs	23.7.91	2.10.91
	23.7.91	2.10.91			
IP20no1	520 ml	750 ml	IVP20no4	450 ml	950 ml
P10no9	600 ml		P10no6	500 ml	
P5no7	720 ml	725 ml	P5no3	620 ml	960ml
H50no3	720 ml	800 ml	H50no1	900 ml	
H25Pno3	120 ml	525 ml	H25Pno1	4'55"	10'00"
Perusmaa	51'56"	58'27"	Perusmaa	810 ml	890 ml
IIP20no8	9'40"		VP20no2	930 ml	950 ml
P10no9	57'05"		P10no8	910 ml	
P5no5	550 ml	310 ml	P5no7	925 ml	925 ml
H50no2	10'30"	425 ml	H50no1	920 ml	950 ml
H25Pno2	780 ml		H25Eno1	890 ml	
Perusmaa	10ml	57'03"	Perusmaa	850 ml	875 ml
IIIP20no9	925ml	12'05"	VIP20no4	53'15"	7'10"
P10no6	2'35"	2'20"	P10no7	2'56"	780 ml
P5no5	800 ml	950 ml	P5no9	825 ml	810 ml
H50no1	10'30"	950 ml	H50no2	950 ml	12'15"
H25Eno1	780 ml	725 ml	H25Eno2	1'57"	26'00"
Perusmaa	800 ml	825 ml	Perusmaa	1'06"	3'11"

3.10 Ilmanläpäisevyys

Ilmanläpäisevyys määritettiin maastossa kahdesti kesän aikana verenpainemittarista sovelletulla laitteella. Moreenikoealat läpäisivät hyvin ilmaa; mittarin lukema putosi nollaan yleensä jo muutamassa sekunnissa (kuva 18). Moreenin ilmanläpäisevyys erosi muiden maalajien ilmanläpäisevyyksistä tilastollisesti merkitsevästi, kuten myös koealan V hiesun, jolla oli huonoin ilmanläpäisevyys. Aikaa kului sillä koealalla jopa useita tunteja, ennenkuin kaikki paine oli purkautunut. Mätäsmaiden halkeamien merkitys (koeala VI, kuva 17) oli tuloksissa nähtävissä, kuten myös turpeen kivennäismaata parempi ilmanläpäisevyys. Jälkimmäisellä mittauskerralla saadut arvot olivat keskimäärin aikaisempia pienempiä. Siihen on ainakin kaksi syytä: kesän aikana on tapahtunut mättäiden tiivistymistä ja syyskuun sateisuus on täyttänyt huokosia. Nopeimmillaan mittarinpaine purkautui runsaassa sekunnissa koealan VI pintaturpeeseen ja hitaimmillaan kuudessa tunnissa koealan V viiden sentin paksuisen patjamättään tiiviissä halkeilemattomassa hiesussa.



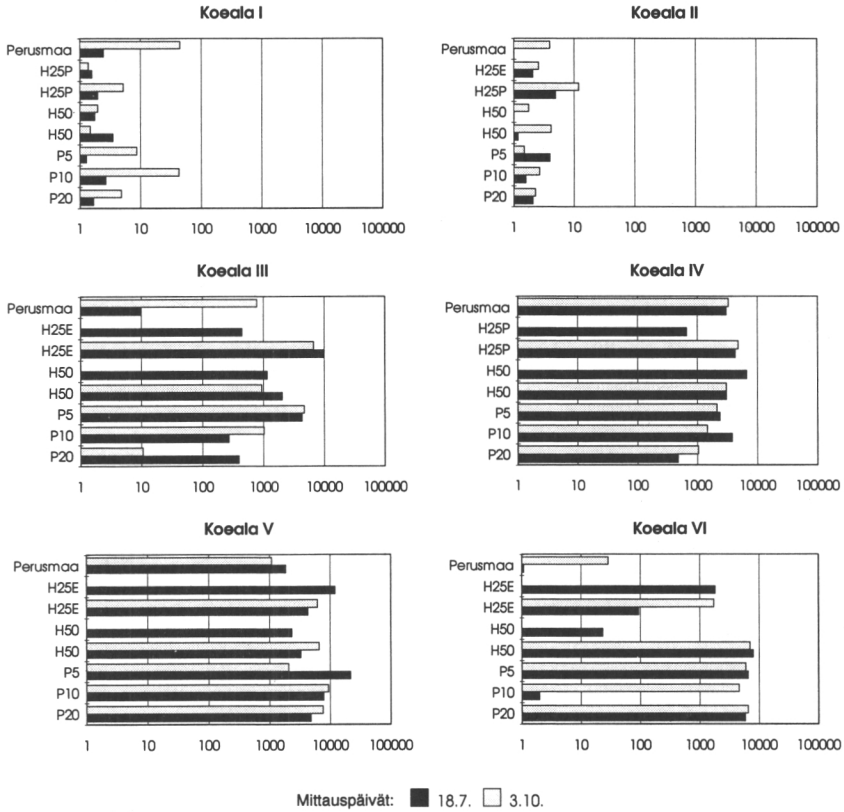
Kuva 17. Jo kuukaudessa mätästämisestä saviseen hiesuun tuli kuivumiskutistumishalkeamia. Juurten kautta kulkiessaan ne voivat kuivattaa juuriston, mutta toisaalta ne tiiviissä maassa edistävät juurten hapensaantia. Kuukaudessa oli sataanut vain 30 mm. Koeala VI.

3.11 Kapillaarisuus

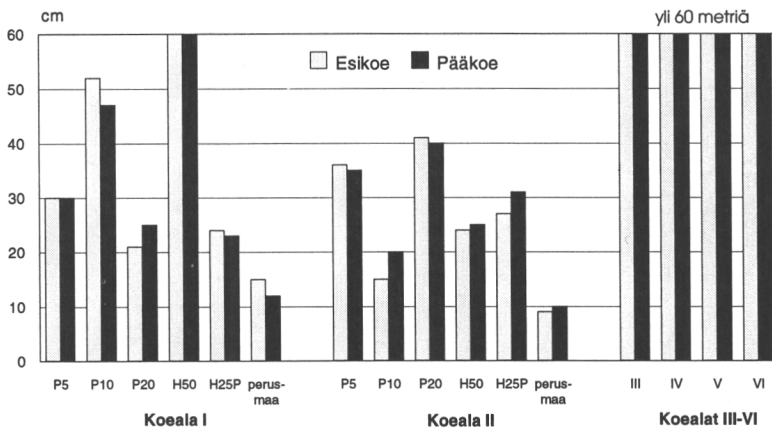
Kapillaarisuudella tarkoitetaan veden nousua ohuissa tiehyissä kapillaarivoiman takia pohjavesipinnan yläpuolelle. Moreeninäytteiden kapillaarisuus mitattiin kapillaarimetrimillä kahdessa vaiheessa. Ensin oli ns. esikoe ja sen jälkeen pääkoe. Niiden tulokset olivat lähes samat. Eri mätäspaksuuksilla arvot vaihtelivat 9 cm:n ja 60 cm:n välillä (kuva 19).

Morenimättäiden maan kapillaarisuus oli keskimäärin suurempi kuin moreeniperusmaan. Ero oli noin 3—4-kertainen. Syy oli sama kuin tilavuuspainoissa eli mättäiden maa oli tiivistettyä ja perusmaassa hienoainesosuus oli alempi kuin mättäissä, joiden aines oli otettu syvemmältä (ks. rakeisuuskäyrät kuva 10 ja taulukko 1). Koealojen I ja II kapillaarisuudet eivät eronneet merkitsevästi toisistaan.

Koalojen III—VI eli hienojakoisten maalajien kapillaarisuus määritettiin vedenläpäisevyyksmittausten yhteydessä muuttuvan paineen kokeella. Koalojen maan kapillaarisuudet ulottuivat yli mitta-asteikon ylärajan, joka on 60 metriä (kuva 19), eli kapillaariveden voidaan sanoa nousevan niissä rajatta. Hienoainesosuus oli niillä 68—100 %, kun se moreeneilla oli vain 22 % ja 21 %.



Kuva 18. Maastossa heinäkuussa ja lokakuussa mitatut ilmanläpäisevydet. Vaak akselin luvut sekunteja.

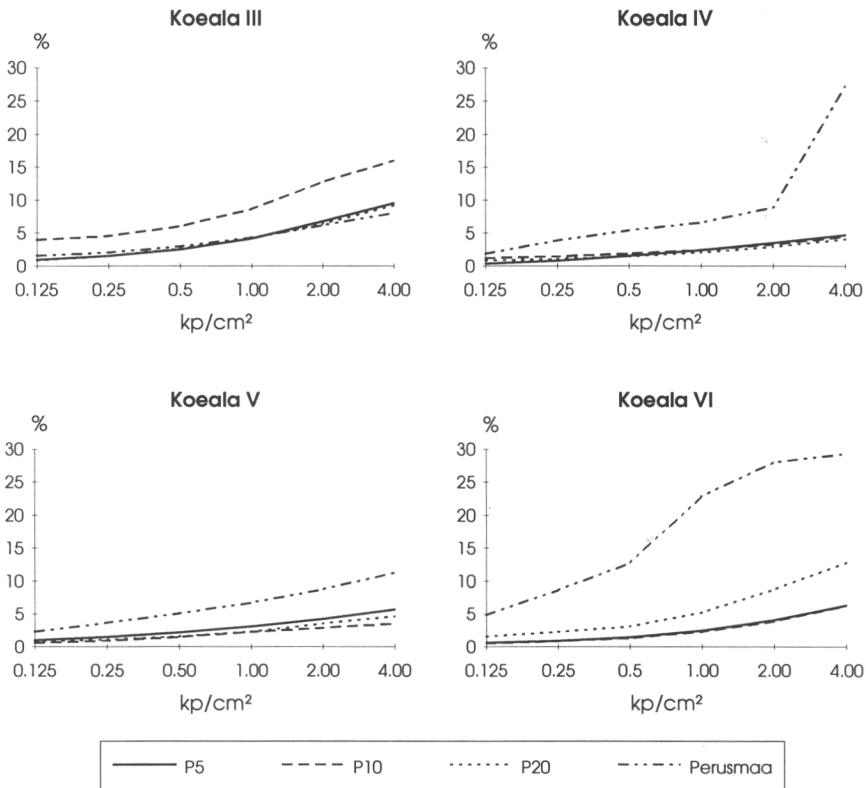


Kuva 19. Veden kapillaarinen nousu. Hienojakoisissa maissa nousukorkeus oli yli mitta-asteikon ylärajan, joka oli 60 metriä.

3.12 Kokoonpuristuminen

Ödometrikokeet tehtiin hienojakoisille maalajeille. Moreeninäytteillä ei koetta tehty, koska moreenista on mahdoton saada tarvittavia häiriintymättömiä näytteitä. Tiedetään kuitenkin, että moreenin kokoonpuristuvuus on tavallisesti hyvin pieni (Helenelund 1964). Ensimmäisessä mittauksessa ödometrin puristusvoima säädettiin 0,125 kp:iin/cm², sitten se lisättiin kaksinkertaiseksi, nelinkertaiseksi jne. aina 32-kertaiseksi asti eli 4 kp:iin/cm². Puristusvoimakkuuksia oli siten yhteensä kuusi.

Kokoonpuristumisarvot vaihtelivat 1 %:n ja 27 %:n välillä (kuva 20). Mätäsmaiden näytteistä enimmillään noin neljäsosa huokostilavuudesta puristui kokoon. Puristusvoiman suuretsa kokoonpuristuminen lisääntyi kerta kerralta eli käyrät kaartuvat ylöspäin. Lukuunottamatta koelaa III mätäsmaiden kokoonpuristuminen oli perusmaata pienempää (syy, ks. Tilavuuspaino 3.8). Hiesumättäät painuivat kuormituksen alla hie- man vähemmän kuin hiesuisen hiedan ja savisen hiesun mättäät. Koelalla III perus- maata oli muista poiketen yhtä tiivistä kuin mättäiden maa. Tilastollisesti eri maalajien kokoonpuristumismäärät eivät eroa toisistaan merkitsevästi.

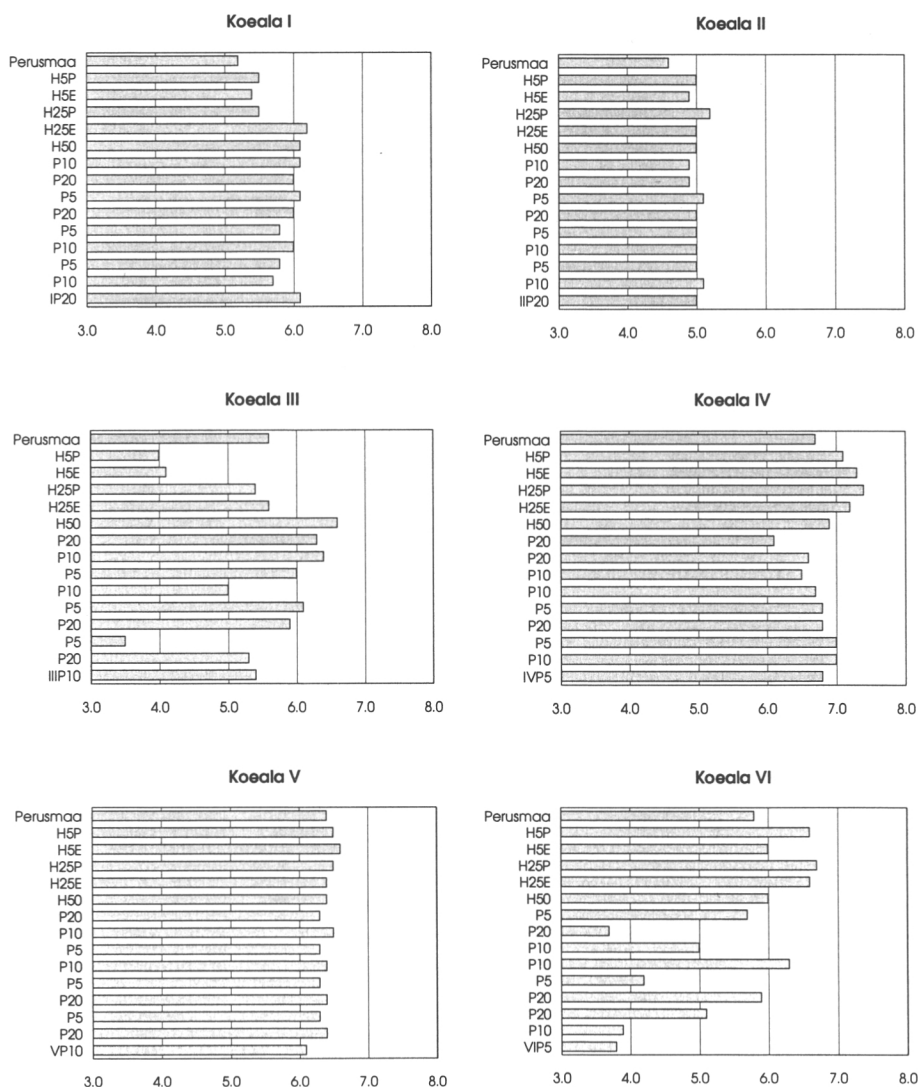


Kuva 20. Kuormitus-kokoonpuristumiskäyrät. Patjamättäät 5 cm, 10 cm ja 20 cm sekä perusmaa.

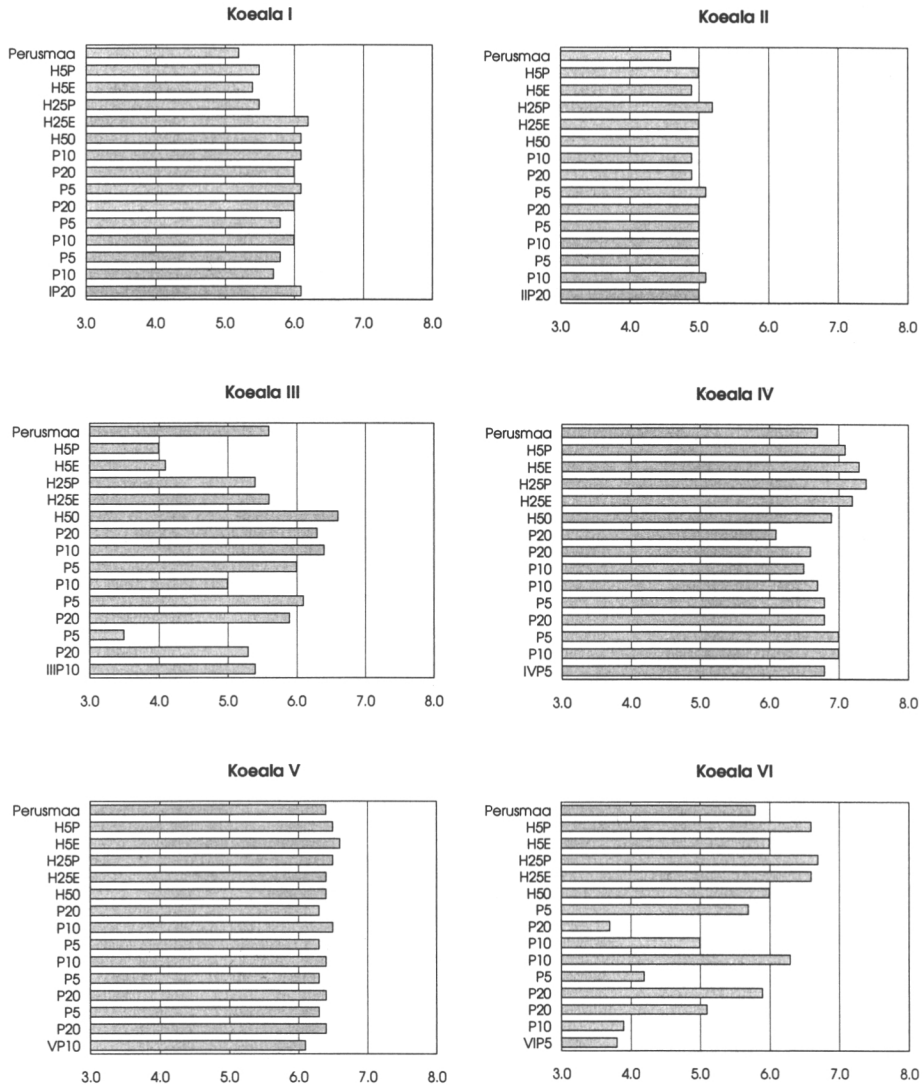
3.13 pH ja sähkönjohtokyky

pH mitattiin maastossa ja sähkönjohtavuus laboratorioissa. Perusmaan pH-arvo vaihteli välillä 4,6–6,7 ja mätäsmaiden välillä 3,5–7,4 (kuva 21). Koealan IV hiesu oli maalajeista keskimääräisesti emäksisin, koealan II hietainen hiekkamoreeni happamin. Edellisen perusmaa oli lähes neutraalia. Tilastollisesti näiden maalajien pH:t erosivat muiden koealojen maalajien pH-arvoista merkitsevästi.

Koealan III hiesuisen hiedan ja koealan VI savisen hiesun johtokyvyt erosivat muiden maalajien mittauservoista tilastollisesti merkitsevästi. Niiden johtokyky nousi joissakin näytteissä yli tuhannen mikrosiemensin, kun muissa se oli yleisesti alle kymmenen tai muutamia kymmeniä (kuva 22). Pienimmät sähkönjohtokyvyt olivat koealan II hietaisella hiekkamoreenilla. Koealan VI savisen hiesun ja koealan III hiesuisen hiedan korkeat sähkönjohtokyvyt johtuivat maan sulfidipitoisuudesta. Moreenin sähkönjohtavuus on sulfidisaveen verrattuna pieni.



Kuva 21. Koealojen maan pH.

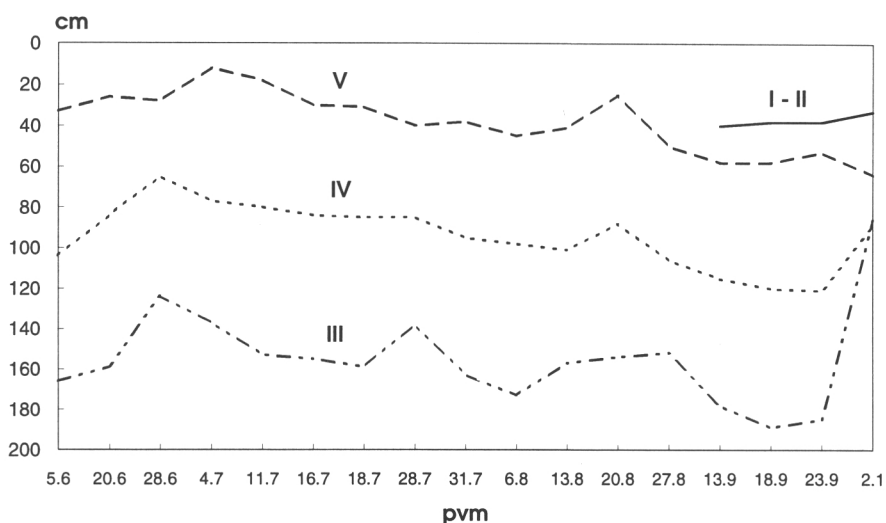


Kuva 22. Koealojen maan sähkönjohtokyky. Yksiköt mikrosiemens/jä.

3.14 Pohjaveden pinta

Pohjaveden korkeutta mitattiin kesäkuun alusta lokakuun alkuun. Koealalle I asennettiin pohjavesiputki vasta loppukesästä. Koealan VI pohjavesiputkissa vesi oli koko kesän 2–5 cm yli maan pinnan, eli paikalla on paineinen pohjavesi. Pohjaveden pinta on koealalla DC-mittauksen mukaan ehyen maakerroksen alla noin 1,7 metrissä. Maasto koealalta sata metriä etelään nousee 10–15 metriä korkeammaksi laajaksi hiekkakan-gasalueeksi.

Kuivan kevään jälkeen kesäkuun runsaat sateet nostivat pohjaveden pinnan havaintojakson maksimiin (kuva 23). Heinäkuun kuivuus alensi pintaa. Elokuun alkupuolen sateisuus näkyy käyrien selvänä nousuna. Haihdunnan väheneminen kesän päättyessä ja syyskuun loppupuolen poikkeuksellisen runsaat sateet nostivat pohjavettä koealalla



Kuva 23. Pohjavesikaivoista mitattu pohjaveden pinnan syvyys kesällä 1991. Koealalla VI pohjavesi oli koko kesän 2–5 cm maanpinnan yläpuolella (paineinen pohjavesi).

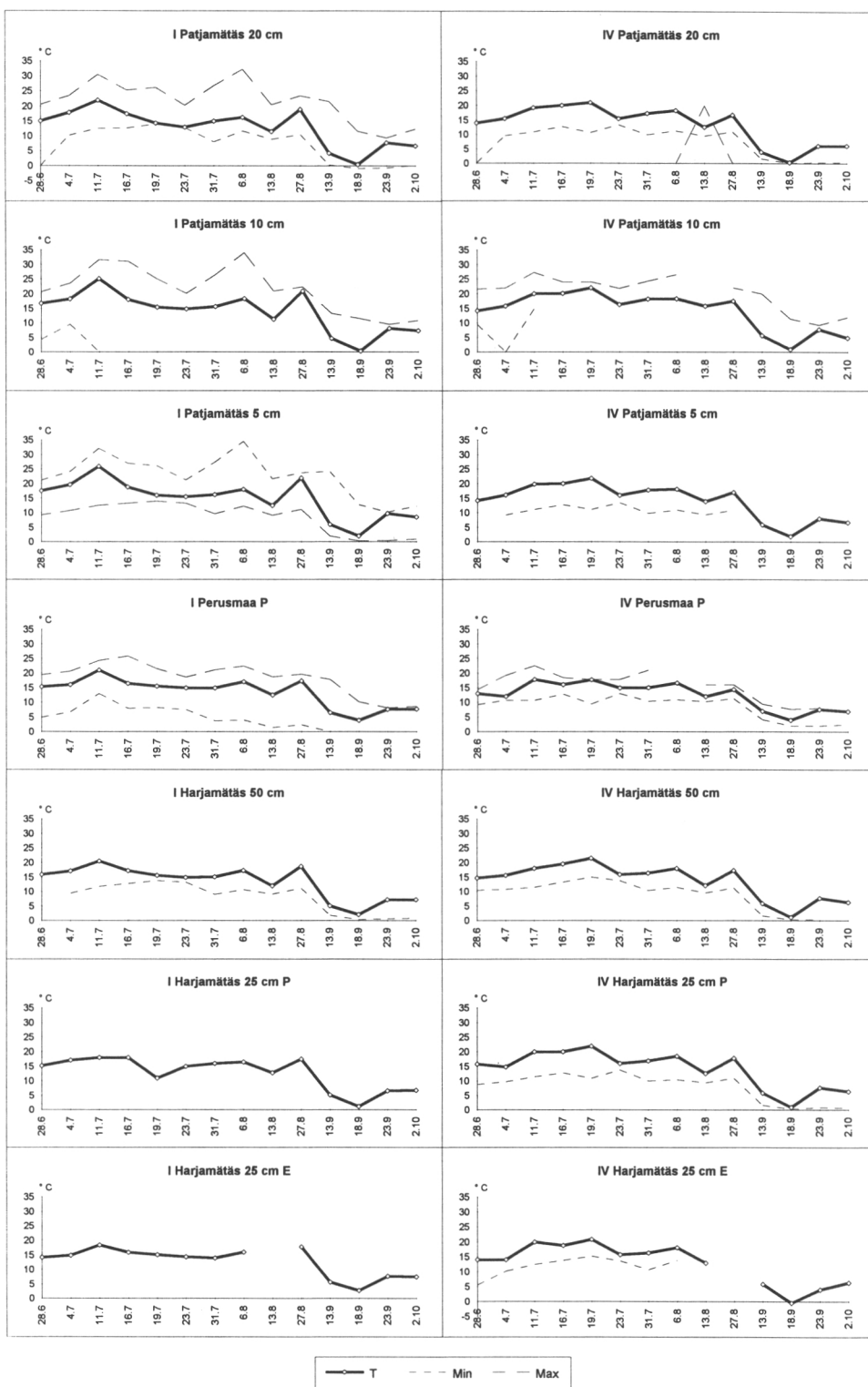
IV 30 cm ja koealalla III 105 cm. Koealan V tiiviillä hiesulla syysateiden vaikutus ei vielä ehtinyt näkyä mittauksen päättyessä lokakuun toisena päivänä. Koealalla III pohjaveden pinnan vaihtelu oli koko kesän herkintä. Syy lienee topografiassa. Koeala oli loivasti viettävän pellon alapäässä.

3.15 Maan lämpötila

Maan lämpötilat puolenpäivän aikaan mitattiin viiden senttimetrin syvyydestä kahdella toisistaan poikkeavalla maalajilla, koealan I moreenilla ja koealan IV hiesulla. Mittauspisteitä oli kummallakin koealalla seitsemän. Vuorokauden maksimi- ja minimimittauksien havaintopisteitä oli vaihdellen yhteensä 6–11. Mittauksia tehtiin 14 päivänä ajalla 28.6.—2.10.1991.

Heinäkuussa, jolloin ilman lämpötila oli suunnilleen pitkäaikaisen keskiarvon mukainen, maan lämpötila oli keskipäivällä 15–20 asteen vaiheilla eli lämpötila oli juuristoille tyydyttävä. Patjamättäät olivat pari kolme astetta lämpimämpiä kuin harjamättäät. Ohut patjamätäs oli lämpimämpi kuin paksu, mutta harjamättäässä maan paksuudella ei ollut vaikutusta.

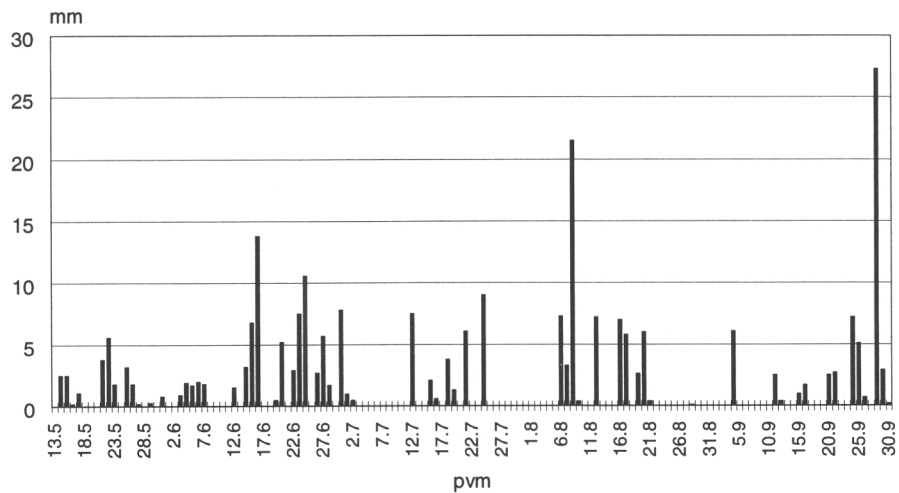
Mätäsmaan lämpötila oli moreenikoealalla keskimäärin yhden asteen ja hiesukoealalla 2,4 astetta muokkaamattoman perusmaan lämpötilaa korkeampi (kuva 24). Syksyllä mättäät kylmenivät nopeammin kuin perusmaa. Hiesun ja moreenin ero näkyi lähinnä maksimilämpötilassa. Moreenissa se oli yhden asteen verran korkeampi. Moreenimättäiden maksimilämpötilat nousivat enimmillään yli 30 C-asteen, kun taas hiesumättäiden maksimilämpötilat jäivät noin 27 °C:een. Tilastollisesti ero ei ollut merkitsevä. Maksimi- ja minimilämpötilojen ero oli keskimäärin 15–20 astetta.



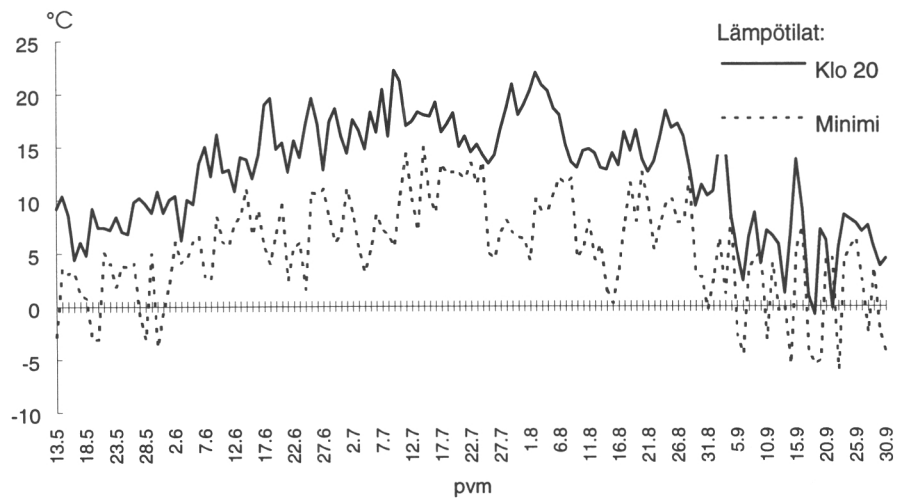
Kuva 24. Koealojen määttäiden ja perusmaan lämpötilat kesäkautena 1991. T = lämpötila noin klo 12.

3.16 Säähavainnot

Tutkimuskauden säähavainnot (kuvat 25 ja 26) saatiin Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemalta Muhokselta. Havaintopisteestä koelaloille on matkaa 0,2—12 km. Huhtikuun sademäärä oli kaksikolmasosaa normaalista. Kuun puolivälissä lumi oli jo sulanut, eli kevät oli varhainen. Toukokuu oli viileä ja sademäärä oli normaali. Kesäkuu oli viileähkö ja runsassateinen. Heinäkuun keskilämpötila oli normaali ja sademäärä vain puolet normaalista. Elokuu oli lämmin ja sademäärä jäi vähän alle normaalista. Syyskuu oli tavanomaiseen verrattuna viileähkö ja runsassateinen. Keskimäärin koko kasvukausi oli lämpötilaltaan normaali mutta keskimääräistä vähän sateisempi (Tilastoja Suomen ... 1991). Taimien kannalta kesä oli suotuisa.



Kuva 25. Sademäärä Muhoksella kesällä 1991.



Kuva 26. Lämpötila Muhoksella kesällä 1991.

3.17 Taimet

Kesän 1991 päättyessä männyn juuriston syvyys harjamättäissä oli kehittynyt parhaiten koealojen I ja II hietaisella hiekkamoreenilla, toiseksi parhaiten koealan III hiesuisella hiedalla ja koealan VI savisella hiesulla, ja huonoiten koealojen IV ja V hiesulla. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä. Hiesuisella hiedalla ja savisella hiesulla männyn kasvaimen pituus oli tilastollisesti merkitsevästi muita maalajeja suurempi. Mätäspaksuudella ei tässä tutkimuksessa ollut juuriston kehittymiselle ensimmäisenä kesänä merkitystä. Juuristojen syvyudet eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi eri mätäspaksuuksissa minkään puulajin kohdalla. Laikkuun ja koskemattomaan maahan istutettujen taimien juuristot olivat samanlaiset kuin mätästaimien. Myöskään ilmansuunnalla ei ollut merkitystä minkään puulajin juuriston syvyyteen.

Kuusen juuristo kehittyi parhaiten hietaisella hiekkamoreenilla ja huonoiten hiesulla ja ero oli tilastollisesti merkitsevä. Suurimmat kuusen kasvaimen pituudet kesällä 1991 mitattiin hiesuiselta hiedalta ja saviselta hiesulta sekä hietaiselta hiekkamoreenilta. Ero hiesulta mitattuihin kasvaimen pituuksiin oli tilastollisesti merkitsevä.

Rauduskoivun juuriston syvyyden tilastolliset erot maalajien välillä olivat samat kuin männyllä. Rauduskoivun verson pituus hiesuisella hiedalla ja savisella hiesulla oli tilastollisesti merkitsevästi parempi kuin muilla maalajeilla. Myös hieskoivun juuristo oli kehittynyt hiesulla huonommin kuin muualla ja ero oli tilastollisesti merkitsevä. Mitatut verson pituudet hiesuisella hiedalla ja savisella hiesulla olivat tilastollisesti merkitsevästi suuremmat hiesuun ja hietaiseen hiekkamoreeniin verrattuina.

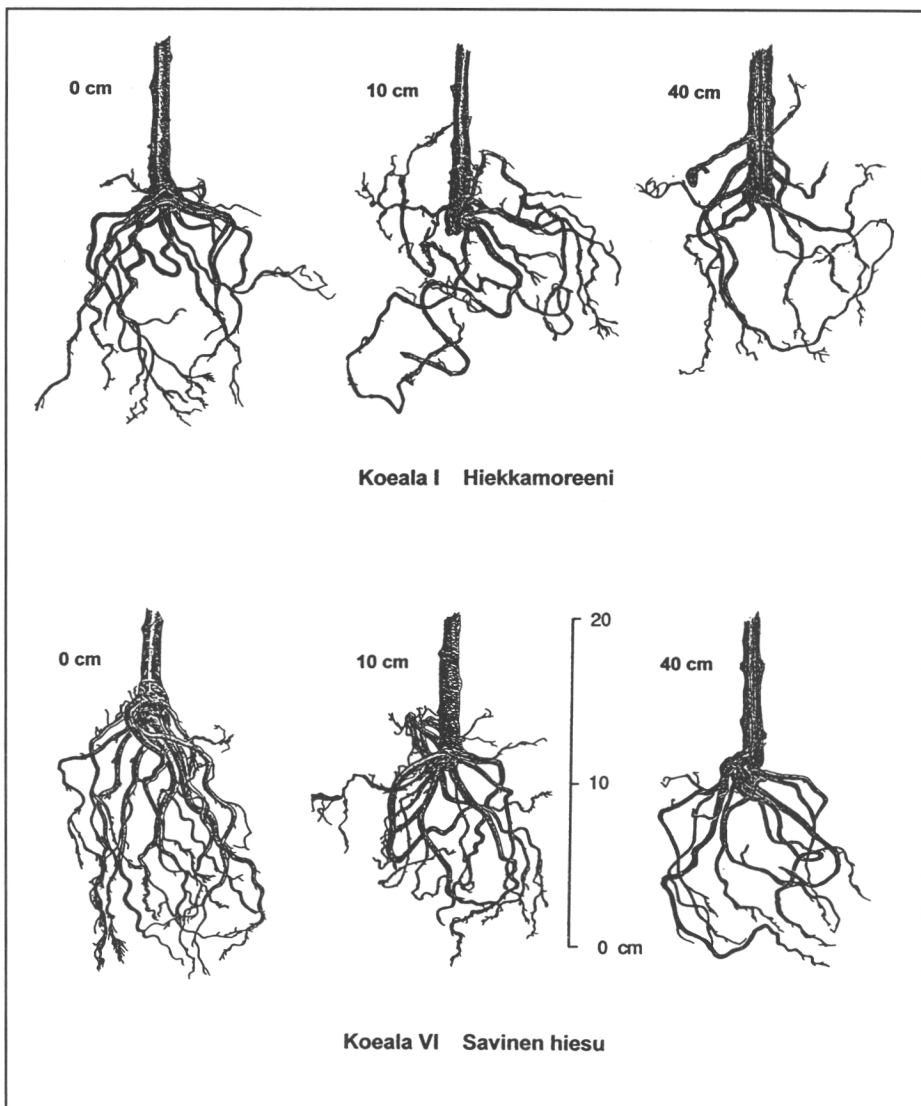
Esimerkkinä juuristojen ulkonäöstä ensimmäisen kasvukauden jälkeen esitetään kuvassa 27 rauduskoivujen juuristoja. Taimet on nostettu moreenikoealalta I mätäspaksuuksilta 0 cm, 10 cm ja 40 cm ja samoilta mätäspaksuuksilta savisen hiesun koealalta VI. Jälkimmäiset juuristot ovat rotevampia, samoin versojen tyviosat. Hiesumaassa ravinteita on paljon, ja ilmeisesti maan halkeilu (ks. kuva 17) on turvannut juurten hapen saannin.

Toisen kasvukauden pituuskasvujen perusteella kaikki puulajit kasvoivat parhaiten hiesuisella hiedalla ja savisella hiesulla. Mittausten mukaan kaikkien puulajien taimet menestyivät parhaiten matalissa mättäissä, laikussa ja sammalikossa. Hietaisella hiekkamoreenilla männyn kasvu oli kuitenkin melko riippumaton mätäspaksuudesta, kuten myös kuusen. Koivujen osalta koealoilla I ja II tuloksia vääristää taimien joutuminen hirvituhojen kohteeksi. Hiesukoealoilla mänty menestyy toisen kasvukauden mittausten perusteella matalissa mättäissä sekä tasapinnalla. Samoin käyttäytyy kuusi. Rauduskoivun suurimmat keskimääräiset pituuskasvut hiesumättäissä mitattiin tasapinnasta ja matalista mätäskorkeuksista, joskin harjamättään laeltakin mitattiin jokseenkin suuria pituuskasvuja. Hieskoivu menestyi hiesukoealoilla parhaiten matalissa mättäissä, tasapinnassa ja laikussa. Tarkat taimien mittaustulokset ks. Kurki 1994.

4. Mittaustulosten tarkastelua

4.1 Raekoostumus

Maan raekoostumuksella on suuri vaikutus maalajin muihin ominaisuuksiin. Se vaikuttaa mm. maan huokostilaan ja siten kasveille käyttökelpoisen veden ja ilman määrään, jotka ovat tärkeitä taimien elintoimintojen kannalta (Aaltonen 1940). Lajitekoostumuksella on vaikutusta myös maan ravinnetilaan. Mitä suurempi maahiukkasten yh-



Kuva 27. Harjamäntäissä kasvaneiden rauduskoivujen juuristo vuoden kuluttua istutuksesta. Mätäspaksuudet 0 cm, 10 cm ja 40 cm. Piirtänyt Marko Rämö.

teenlaskettu reaktiokykyinen pinta-ala on, sitä suurempi on maan ioninvaihtokyky. Liian suuri hienoainepitoisuus on kuitenkin haitallista, koska se muuttaa maan fysikaalisia ominaisuuksia juurille epäedulliseen suuntaan. Wilden mukaan (Kauppila ja Lähde 1975) maan hienoimpien lajitteiden (<0,06 mm) määrä on kasvien kannalta tärkein. Pohjois-Suomessa on hyvät edellytykset hyväkuntoisten männyntaimikoiden aikaansaamiseksi, jos <0,02 mm lajitteiden osuus on alle 12 % ja/tai jos hienon hiedan ja sitä hienompien lajitteiden (<0,06 mm) osuus on alle 25 % (Lähde 1974).

Kuuden koalan mättäiden maalajeiksi saatiin hietainen hiekkamoreeni, hiesuinen hieta, hiesu ja savinen hiesu. Rakeisuusanalyysien ja edellä esitettyjen rajojen perusteella vain hietaisella hiekkamoreenilla ko. maalajeista voidaan olettaa olevan hyvät edellytykset männyntaimien menestymiseen. Koska muilla maalajeilla hienoaineksen

osuus on suuri, voidaan hieskoivun olettaa menestyvän parhaiten. Tästä huolimatta toisen kasvukauden tulosten perusteella kaikkien puulajien suurimmat keskimääräiset pituuskasvut mitattiin hiesuiselta hiedalta ja saviselta hiesulta.

Kaikki tutkimuksessa mukana olleet maalajit ovat routivia. Talven 1991—92 aikana kaikkien koelajien mättäät routivat niin, että rouste nosteli taimia mättäistä ylös sekä aiheutti mättäiden aineksen valumista. Pahiten roustevaurioista kärsivät hiesumättäät. Toisaalta routa oli kuohkeuttanut ja muuttanut savisten hiesu- ja hiesuisten hietamättäiden aineksen entistä murumaisemmaksi, mikä myös selittää taimien hyvää menestymistä ko. koelajoilla.

4.2 Vesipitoisuus

Maaperän veden esiintymismuotoja ovat vajovesi, kapillaarivesi, adsorptio- eli vaippavesi sekä hygroskoopppinen vesi (Airaksinen 1978). Maassa olevasta vedestä kasvit voivat helpoimmin käyttää vajovettä. Maan vesipitoisuus ei yksin anna riittävää kuvaa kasvien mahdollisuuksista käyttää maassa olevaa vettä. Maalajit sitovat vettä eri tavoin ja eri määriä. Mitä enemmän maassa on hienoja lajitteita ja humus- ja savikolloideja, sitä suuremman osuuden maan huokostilasta on vesipitoisuuden optimin saavuttamiseksi oltava vettä (Aaltonen 1940, Buckman & Brady 1969, Havas 1977). Hienojakoinen maa omaa myös suuren kapillaari-imun, joka nostaa pohjaveden pintaa. Toisaalta kapillaarisuus aiheuttaa maan kuivumisen syvälle kuivalla säällä. Karkearakeisilla mailla on vettä kasvien käytössä hienojakoiseen maahan verrattuna vähän, mutta syvällä karkeassa maassa kosteus pysyy kuitenkin kuivissa olosuhteissa paremmin, koska läpimitaltaan suuret kapillaariputket eivät kykene nostamaan uutta vettä ylös maan pintakerroksen kuivuessa.

Maan ominaisuuksia kuvataan myös kenttäkapasiteetilla. Sillä tarkoitetaan maan vesipitoisuutta sen jälkeen, kun maa on ensin ollut täysin vedellä kyllästettyä ja sitten vapaa vesi on valunut pois. Kenttäkapasiteetissa on hiekkamaassa vettä <10 % maan kuivapainosta ja lakastumisasteessa noin 1 % (Havas 1977). Savimaassa vastaavat vesipitoisuudet ovat jopa yli 30 % ja noin 10 %. Kenttäkapasiteetin ja lakastumisrajan erotusta kutsutaan hyötykapasiteetiksi. Mitä suurempi maan hyötykapasiteetti on, sitä paremmin se pystyy varastoimaan vettä ja sitä paremmin siinä kasvavat kasvit kestävät poutakausia ja sitä vähemmän haihtuminen on riippuvainen sateiden tasaisuudesta (Vesirakennus ... 1973). Tutkimuksessa mukana olleet maalajit olivat kenttäkapasiteetinsa puolesta sopivia puiden kasvualustaksi eli ongelmaa veden saannissa ei ollut.

Maan vesipitoisuuden suhde kokonaishuokoisuuteen eli kyllästysaste riippuu mm. maalajista, kuivatusasteesta ja sateista. Maan huokostila voi olla täysin vedetön tai osittain tai jopa kokonaan veden täyttämä. Kasvien juurten toiminnalle tilanne on suotuisa silloin, kun huokostilasta puolet on ilman ja puolet veden täyttämää. Hiekan kyllästysaste ilmaistaan sanoilla kuiva, kostea ja märkä. Savi on useimmiten kokonaan veden kyllästämää lukuunottamatta maanpinnassa olevaa kuivakuorikerrosta, jossa maa seuraa ilman kosteus- ja lämpötilavaihteluja (Henelund 1979). — Moreenikoelajien maassa kyllästysasteet olivat alimmat. Savinen hiesu oli ajoittain jopa kokonaan vedellä kyllästetty.

Ilmeisesti maaperän liika vesi on suurempi ongelma metsänviljelyksessä kuin veden puute, varsinkin Pohjois-Suomessa (Mutka & Lähde 1977). Märkä maa on samalla kylmä, maan ilmanvaihto on heikkoa, humuksen hajoaminen estyy ja juuriston hengitys ja kasvu hidastuvat. Sopivalla maan muokkauksella pyritäänkin mm. johtamaan liika vesi pois. Toisaalta käsitelty kasvualusta voi kuivua liikaa (Kauppila & Lähde 1975).

Tehtyjen mittausten mukaan moreenimättäiden vesipitoisuus on laskenut alle kymmenen prosentin (kuva 11) ja sitä alemmas, mitä paksummasta mätäskohdasta näyte on otettu. Silmävaraisesti vedenpuutteen symptomeja ei havaittu, mutta taimien kuolleisuus oli korkeampi kuin tällaisella kokemuksen perusteella ”helpoksi” arvioidulla maaperällä oli odotettavissa. Kaikkien koealojen mätäsmaiden perusmaata pienemmät vesipitoisuudet johtunevat niiden ilmavammasta rakenteesta ja korkeudesta sekä kapillaarisen veden nousun heikkenemisestä mättään ja perusmaan väliltä. Saman suuntaisia tuloksia on saatu muissakin tutkimuksissa (ks. esim. Lähde et al. 1981). Maan korkeuden takia vedenläpäisykyky on hyvä ja mättäiden kuivuminen sateiden jälkeen nopeaa.

Männyn kyky säädellä vedenkulutustaan on Polsterin mukaan parempi kuin kuusen ja koivun, joiden veden tarve on siten suurempi (Heinonen & Lukkari 1987). Pinnallisen juuristonsa ja suhteellisen suuren veden tarpeensa vuoksi kuusi soveltuu ilmeisesti mäntyä paremmin tiiville, hienojakoisille maille (Lähde 1974).

4.3 Humuspitoisuus

Suomen myöhäisglasiaalisten savien humuspitoisuus on yleensä alle 1 %. Postglasiaaliset savet sisältävät humusta enemmän (Soveri & Kauranne 1972). Humus vaikuttaa maalajin luonnollista vesipitoisuutta lisäävästi ja siten alentaa maalajin leikkauslujuutta ja vedenläpäisevyyttä sekä lisää maalajin kokoonpuristuvuutta.

Kivennäismaan päällä oleva humuskerros sitoo tehokkaasti vettä ja estää sen pääsyn kivennäismaahan juurten ulottuville. Toisaalta humuskerros toimii tehokkaana lämpöeristeenä, joten kivennäismaan lämpötila pysyy aina suhteellisen alhaisena (Mälkönen 1972). Sitomalla vettä humus vähentää ravinteiden huuhtoutumista (Tikkanen 1983). Toisaalta orgaanisen aineksen sekoittaminen kivennäismaahan ja siihen liittyvä maan kuohkeutuminen lisää mineralisoituneiden ravinteiden määrää maavedessä (Starr et al. 1982). Runsas humuspitoisuus maassa pienentää tilavuuspainoa, ja kivennäismaakerroksen sekoittaminen kunnan kanssa heikentää voimakkaasti kapillaarista nousua (Kaupila & Lähde 1975).

Koealojen mättäiden perusmaita pienemmät humuspitoisuudet johtuvat siitä, että mättäiden aines on peräisin syvemmmältä, missä humuspitoisuus on pintamaata pienempi. Varsinkin koealalla VI, missä perusmaa on käytännössä turvetta, ero oli hyvin selvä. Koealan VI savisen hiesun humuspitoisuudet olivat muita maalajeja korkeammat. Tämä tumman harmaa sulfidipitoinen aines on peräisin lämpimältä Litorinakaudelta, jolloin elintoimintaa oli runsaasti. Hiesumättäistä mitatut suurehkot humuspitoisuudet johtunevat runsaasti kasvinjäänteitä sisältävän maan pintakerroksen sekoittumisesta mättäiden materiaaliin.

4.4 Huokostila

Kasvien kannalta optimaalinen tilanne on, että maan huokostila olisi noin puolet maan tilavuudesta. Huokostilasta tulisi taas olla puolet veden täyttämää ja puolet ilmatilaa (Buckman & Brady 1969, Lähde & Pohjola 1975, Lähde 1978, Lähde et al. 1981). Ilmatilan jäädessä alle 10 % puiden juuret eivät pysty kunnolla toimimaan (Lähde 1974). Ilman ja veden oikean suhteen lisäksi tärkeätä on myös hyvä tuuletus, niin että maahuokosten ilma pysyy happirikkaana (Koivisto 1976). Eri puulajien kyvyssä sietää happivajausta on eroja. Hieskoivu on suomalaisista puulajeista kestävin (Huikari 1955). Myös rauduskoivu sietänee esimerkiksi kevättulvan aiheuttamaa happivajausta paremmin kuin havupuut, joista mänty on kuusta kestävämpi (Mannerkoski & Möttönen 1990).

Luonnollisen maakerroksen huokoisuus vaihtelee paljon raemuodosta, raekoosta, rakennetyypistä ja tiivyydestä riippuen. Heikosti lajittuneen maalajin huokoisuus on pienempi kuin hyvin lajittuneen, jos muut huokoisuuteen vaikuttavat tekijät ovat molemmilla samat. Koska maata tiivistävät voimat riippuvat yläpuolisen maakerroksen vahvuudesta, huokoisuus pienenee yleensä mentäessä syvemmälle, erityisesti savimaalajeissa.

Mätäsmaiden huokoisuudet kaikilla koealoilla jäivät yleensä alle 50 %:n. Vain koealan III hiesuisista hietamättäistä mitattiin jatkuvasti lähellä optimia olevia huokoisuuksia. Moreenimättäiden huokoisuudet vaihtelivat muita maalajeja enemmän aineksen huonon lajittuneisuuden takia. Hiesumättäiden huokoisuudet vaihtelivat 35 ja 44 %:n ja savisen hiesumättäiden 37 ja 55 %:n välillä. Perusmaista (= laikku) koeala IV hiesun, koeala VI savisen hiesun sekä koealojen I ja II hietaisen hiekkamoreenin huokoisuudet ylittivät optimihuokoisuuden. Moreenikoealojen huokostilasta oli keskimäärin 27 % veden täyttämää eli ilmatilan osuus oli 73 %. Ilmatila oli siis riittävän suuri. Muilla maalajeilla ilmatilan osuus huokosista jäi alle optimin; hiesuisella hiedalla keskimääräinen ilmatila huokosista oli 35 %, hiesulla 38 % ja savisella hiesulla, joka ajoittain oli kokonaan vedellä kyllästettynä, 27 %. Arvot eivät kuitenkaan laskeneet Lähteen (1974) esittämän juurten toiminnan kannalta kriittisen 10 %:n rajan alapuolelle. Ko. hienojakoisilla maalajeilla myös ilmanläpäisevyys oli merkittävästi huonompi kuin moreenilla, joten niiden maan tuuletus oli heikkoa.

4.5 Tilavuuspaino

Maan tilavuuspaino vaihtelee sen mineraaliaineksen tiheyden, huokoisuuden ja kyllästysasteen mukaan. Maan liika tiiviyys saattaa estää juurten kasvua (Lähde et al. 1981). Jos kuivatilavuuspaino on suuri, vesi voi olla niin tiukasti maahiukkasten pinnalle sitoutunutta, etteivät kasvit enää pysty saamaan vettä, vaikka huokostila olisi veden täyttämä. Jotta juurilla olisi riittävästi vettä käytettävissä, kuivatilavuuspaino hiekkamaassa ei saisi olla $>1,75 \text{ g/cm}^3$. Weichmeyerin ja Hendricksonin mukaan (Lähde et al. 1981) savimaassa raja on vielä pienempi eli $1,55 \text{ g/cm}^3$.

Maan tilavuuspaino saattaa vaihdella arvojen 9 kN/m^3 (turve) ja 22 kN/m^3 välillä ($0,9 \text{ kg/dm}^3$ ja $2,2 \text{ kg/dm}^3$). Saven tilavuuspaino on useimmiten noin $14\text{—}18 \text{ kN/m}^3$.

Edellä esitettyjen rajojen perusteella lähinnä hiesusta mitatut märkätilavuuspainot ovat liian suuria, jotta juurilla olisi riittävästi vettä käytettävissä. Maastossa mitatut volymetrimääritykset antoivat myös moreenille hieman liian suuria arvoja (mittausvirhe, ks. 3.8). Mättäiden keskimääräistä suuremmat märkätilavuuspainot perusmaahan verrattuna johtuvat siitä, että perusmaan pintaosa on huuhtoutunutta ja hienoainesta siinä on vähän. Lisäksi maata kaivurilla nostettaessa se ei välttämättä sekoitu. Myös mättäiden muotoiluvaiheessa tiivistymistä lienee tapahtunut.

4.6 Vedenläpäisevyys

Maalajin vedenläpäisevyys vaihtelee erittäin suuresti. Siihen vaikuttavat mm. maan huokoisuus, huokosten määrä ja muoto, maassa olevan hienon aineksen määrä, rakeiden muoto, huokosveden viskositeetti, tilavuuspaino ja humuspitoisuus. Huonoiten vettä läpäiseviä maalajeja ovat savi ja hienorakeiset moreenit, parhaiten vettä läpäisevät sora ja hiekka. Saven vedenläpäisevyyttä suurentaa usein se, että savessa syntyy mururakenne ja saven pintaan syntyy kuivumiskutistumisen vaikutuksesta helposti vettä johtavia halkeamia. Moreenin vedenläpäisevyys vaihtelee moreenin hienoaineksen määrän mukaan. Kun vedenläpäisevyys on suuri, maa ei pysty pidättämään vettä, ja vaarana on kuivuus.

Tutkimuksessa mitatut vedenläpäisevyydet vastaavat hyvin kirjallisuudessa eri maalajeille esitettyjä arvoja (mm. Maarakennusalan ... 1970, Soveri & Kauranne 1972). Hienoihin maalajeihin syntyneet kuivumiskutistumahalkeamat lisäsivät selvästi niiden vedenläpäisevyyttä.

4.7 Kapillaarisuus

Koska maalajin vedenläpäisevyys kasvaa raekoon suuretessa likimain rakeiden halkaisijan toisen potenssin mukaan ja kapillaarinen nousukorkeus taas pienenee kääntäen verrannollisena raekokoon, on savella suuri kapillaarinen imukyky, mutta niin pieni vedenläpäisevyys, että vettä nousee hyvin hitaasti ylös. Hiekalla taas on hyvä vedenläpäisevyys, mutta pieni kapillaarisuus, joten vesi pysähtyy lyhyen matkan päähän pohjavesipinnasta (Rantamäki et al. 1987).

Hienoille maalajeille saadut kapillaarisuudet vastaavat tiiviiksi sullotun saven kapillaarisuusarvoja. Näihin tuloksiin tulee suhtautua varauksella, koska koelaitteisto toimi heikosti määrittelyn aikana. Mättäiden aineksen kapillaarinen yhteys pohjaveteen on joksikin aikaa katkaistu, koska mättäiden pohjalle jätettiin rikkomaton humuskerros.

4.8 pH

Lähes kaikkialla Suomessa maannostyyppinä on luonnostaan hapan podsolimaannos. Se muodostuu karike- ja humuskerroksesta, huuhtoutumis-, rikastumis- ja muuttumattomasta pohjamaakerroksesta. Podsolikerrosten happamuus pienenee alaspäin siirryttäessä.

Jos maa on hyvin vetinen, on sen pH korkeampi kuin vastaavassa kuivassa maassa (Havas 1977). Tämä johtuu siitä, että maassa tapahtuu hapetusreaktioita sen kuivuessa. Useimpien kasvien fysiologinen optimi on pH-arvon 5,0—7,0 tienoilla (Havas 1977). Jos maa on tätä emäksisempi, muuttuvat fosfori, rauta ja mangaani kasveille käyttökeltömaan muotoon. Jos taas maa on hyvin hapanta, eräiden ionien saatavuus heikkenee niiden sitoutuessa kasveille käyttökeltömaan muotoon, kun taas eräiden aineiden liukoisuus lisääntyy jopa aiheuttaen kasveille myrkytysoireita (Havas 1977).

Mätätystyksessä pintaan nousee muuttumattoman pohjamaakerroksen lisäksi rikastumiskerrosta, jossa on saostuneena pinnalta huuhtoutuneita aineita, rautaa ja alumiinia. Jos mättäät ajoittain kuivuvat ja jos niiden pohjalla tapahtuu voimakasta typen mobiilisaatiota, ei maa ole kasveille ravinnetalouden kannalta hyvää (Raitio 1983). Laihon (1983) mukaan tämän välttämiseksi mätätystyksessä ei saisi liikutella kovin suuria määriä, ja eri maakerrosten tulisi sekoittua keskenään suhteellisen hyvin.

Tutkimuksessa mättäiden happamuus ei ollut pienempi kuin laikussa (vrt. Lähde et al. 1981). Havaksen esittämän optimin mukaan kaikkien maalajimättäiden keskimääräiset pH:t kasvien kannalta olivat sopivia, eli yleensä yli 5,0.

Aaltosen (1940) mukaan Suomen metsämaiden pH-arvot eri metsätyypeillä ovat:

Metsätyyppi	Humus	Kivennäismaa
Jäkälätyyppi	3,6	5,2
Kanervatyyppi	4,2	..
Puolukkatyyppi	4,6	5,4
Mustikkatyyppi	4,8	5,6
Käenkaalimustikkatyyppi	5,2	..

Kun verrataan yllä olevia ja kuvan 21 perusmaan lukuja, voidaan päätellä, että koealan I viljavuus olisi jäkälätyypin tasoa, koeala II:n alle jäkälätyypin, koealat III ja VI mustikkatyyppiä ja koealat IV ja V selvästi parempaa tyyppiä. Maastossa tyytit olivat edellisiä tyyppinimiä käyttäen I ja II puolukkatyyppiä ja muut käenkaalimustikkatyyppiä. pH-määritys ei siten antanut viljavuudesta oikeata kuvaa, eli pH-arvon ja viljavuuden riippuvuus ei ole yksiselitteinen.

4.9 Tiivistyminen

Maan konsolidoituminen eli tiivistyminen kuormituksen alaisena vaatii aikaa. Primäärisen konsolidaation aikana tiikuu vapaa huokosvesi pois sedimentistä. Seuraavaksi lähtee adsorptioveden heikoiten orientoitunut uloin osa. Sekundäärisen konsolidaation aikana adsorptioveden poistumisen lisäksi tapahtuu rakeiden liukumista toistensa suhteen. Adsorptioveden vähetessä ja rakeiden lähestyessä toisiaan niitä sitovat voimat lisääntyvät ja liukuminen vähenee. Jos aikaa on kylliksi ja kuormittava voima tarpeeksi suuri, voi sekundäärinen konsolidoituminen johtaa kemiallisiin ja mineralogisiin muutoksiin savissa. Muutoksia seuraa diageeneesi (Soveri & Kauranne 1972).

Karkearakeisessa maaperässä, missä vedenläpäisevyys on yleensä suuri, konsolidaatiopainuminen tapahtuu maan hyvän vedenläpäisevyyden vuoksi nopeasti, kun taas hienorakeinen maaperä konsolidoituu erittäin hitaasti. Toisaalta, jos hienorakeisessa maalajissa huokoisuus ja vesipitoisuus ovat verrattain suuria, konsolidaatiopainuminen voi olla verrattaen suurta ja sitä runsaampaa, mitä vesipitoisempi maakerros on (Rantamäki et al. 1987).

Kuormitus-kokoonpuristumakäyrä ilmaisee maanäytteen lopullisen kokoonpuristumisen riippuvuuden kuormituksen suuruudesta. Jos pienillä kuormituksilla tapahtuu vain vähäistä näytteen kokoonpuristumista, on ko. maakerros ollut jossain geologisessa kehitysvaiheessa suuremman paineen alaisena. Varsinainen konsolidaatiopuristuminen alkaa vasta kun kokeessa aiheutettu jännitys ylittää tämän esikuormituksen. On kuitenkin huomattava, että mättäistä otetut häiriintymättömät näytteet eivät vastaa ko. koealan maaperän materiaalia luonnontilassa. Ne olivat jo kerran maaperästä mättäisiin siirrettyä maata.

Voidaan päätellä, että moreenimättäät ovat tiivistyneet nopeasti koealojen perustamisen jälkeen ja että niiden kokoonpainuminen on ollut pientä. Kuormitus-kokoonpuristumakäyrien perusteella muilla koealoilla, lukuunottamatta koealaa III, perusmaan tiivistyminen kuormituksen johdosta on mättäiden tiivistymistä suurempaa ja näin jatkuu tulevaisuudessa hieman voimakkaampana. Koealojen IV hiesu- ja VI savisen hiesuperusmaan suuri kokoonpuristuminen johtunee perusmaan runsaasta orgaanisen aineksen määrästä ja mättäitä suuremmasta huokoisuudesta. Hiesumättäiden tiivistyminen tulevaisuudessa on hidasta ja vähäistä, kun taas savisten hiesu- ja hiesuisten hietamättäiden tiivistyminen jatkuu niitä hieman voimakkaampana.

4.10 Lämpötila

Maan lämpötila on eräs tärkeimmistä kasvien elämää säätelevistä tekijöistä. Pohjoisilla leveysasteilla maan alhainen lämpötila on merkittävä ekologinen tekijä, joka hidastaa mm. taimien juurten kasvua ja heikentää taimien ravinnetaloutta hidastamalla hajoitustoimintaa maassa (Leikola 1974, Söderström 1977, Lähde 1978). Maan kosteus- ja lämpöolojen on todettu olevan riippuvuussuhteessa siten, että märkä maa on myös kylmää (Aaltonen 1940, Mutka & Lähde 1977, Lähde 1978). Maan lämpenemiseen vaikuttaa myös sen ilmavuus. Hienorakeiset, humusrikkaat maat ovat yleensä kylmiä,

mutta ne säilyttävät lämpötilansa suhteellisen hyvin. Sora- ja hiekkamaat ovat taas lämpimiä maita (Havas 1977).

Muokkauksella voidaan kohottaa huomattavastikin maan vuorokautista keskilämpötilaa. Varsinkin sellaiset muokkausmenetelmät, jotka saavat aikaan kohoumia, parantavat maan lämpöoloja enemmän kuin pelkkä humuksen poisto (Turtiainen & Valtanen 1970, Mälkönen 1972, Leikola 1974, Kauppila & Lähde 1975, Kinnunen 1976, Kaila & Päivänen 1978, Lähde 1978, Laiho 1979, Lähde et al. 1981, Raulo & Rikala 1981).

Puiden juuriston toiminnan minimilämpötilaksi on yleisimmin esitetty 2—3—5—6 °C. Kuusen tiedetään yhteyttävän tehokkaasti alhaisemmassa lämpötilassa kuin männyn ja koivun (Heinonen & Lukkari 1987). Kuusen taimien juuriston kehityksen kannalta maan optimilämpötila on noin 25 °C ja männyn 30 °C (Söderström 1977). Myös liian korkealla lämpötilalla on haittavaikutuksensa (Kauppila & Lähde 1975).

Tutkimuksessa määttäistä mitatut lämpötilat olivat hieman korkeampia kuin laikuista mitatut. Heinäkuussa keskipäivällä mätäsmaiden lämpötila 5 cm:n syvyydessä oli noin 15—20 astetta eli selvästi alle optimin. Hiesumättäät olivat keskimäärin hieman kylmempiä kuin moreenimättäät. Juuriston toiminnan kannalta liian alhaisia lämpötiloja mitattiin vasta syyskuun puolivälin jälkeen, jolloin kasvukausi oli jo muutenkin päätymässä. Toisaalta kesän aikana mitattiin puiden optimilämpötilan ylityksiäkin. Moreenimättäiden maksimilämpötilat nousivat jopa yli 34 °C:een, jota pidetään jo haitallisen korkeana lämpötilana juurten elintoimintoja ajatellen. Hiesumättäiden maksimilämpötilat olivat korkeimmillaan noin 27 °C.

5. Rouste

Rousteen vaikutusta selvitettiin silmämääräisesti maastokäyntien yhteydessä. Rousteella tarkoitetaan metsänhoidossa haitalliseksi koettua syksyin kevään esiintyvää maan pinnan liikkumista. Roudan muodostumisella taas tarkoitetaan maan jäätymistä talven aikana pintaa syvemmältä eli talvisen kerrosroudan syntymistä, ja siitä ei metsänhoidossa ole haittaa. Maalajin raekoostumus vaikuttaa maan kerrosroudan syntymiseen eli routimiseen. Routivia ovat kaikki suhteistuneet maalajit, joiden rakeisuusikäyrän läpäisyprosentti 0,02 mm:n kohdalla on suurempi kuin 3 % ja tasarakeiset maalajit, joilla vastaava läpäisy on yli 10 % (Airaksinen 1978). Maalajin, jonka kapillaarisuus on yli 1 m, katsotaan olevan routiva.

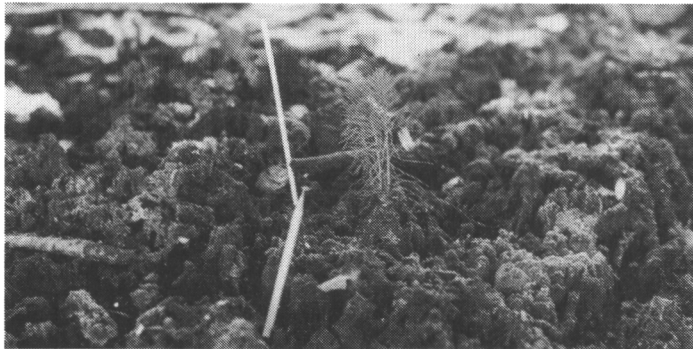
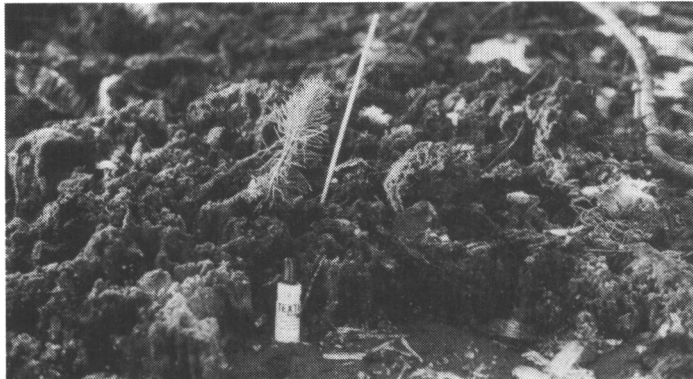
Rouste on erilainen ilmiö. Syksyllä ja heti lumen sulamisen jälkeen keväällä päivän ja yön lämpötilavaihtelu on pilvettömällä säällä usein niin suurta, että maanpinnan ohut kuori yöllä jäätyy. Kapillaariveden noustessa syvemmältä ja jatkuvasti jäätyessä pintakuoren alle syntyy pystyjä jääpilareita, joiden päällä maan pintakuori nousee sitä mukaa kuin pilarit alhaaltapäin kasvavat pituutta. Päivällä jää sulaa ja pintakuori laskee alkuperäiseen tilaan. Juuri tämä on rousteilmiö. Yhdessä yössä voi syntyä muutaman sentin korkuisia jääpatsaita. Myös usean päivän pakkasjaksolla syntyy roustetta, ja pilarit voivat kasvaa 10—15 senttimetriin. Tästä rousteenmuodostuksesta käytetään tois-
taiseksi samaa termiä routiminen kuin varsinaisesta talviroudasta.

Rousteen syntymistä ja sulamista voi jatkaa useita vuorokausia. Etenkin paakkutaimet ovat rousteen takia herkkiä nousemaan maasta. Maan pinta jäätyy renkaana kiinni paakun ylälaitaan, ja pinnan alaisen (kapillaari-)veden jäätyessä ja kasvaessa jääpilareiksi alaosaan sulassa maassa oleva paakku nousee ylös. Kun jää paakun ympäriltä päivällä sulaa, taimi juuristopaakkuineen kaatuu maan pinnalle. Tämä voi tapahtua jopa

yhtenä vuorokautena. Kun istutuksen jälkeisenä syksynä tai keväänä sattuu useita rousteenmuodostukselle sopivia vuorokausia, voi pääosa taimista tuhoutua (kuvat 28 ja 29). Joskus nousseitten paakkujen alapuolella jää kuitenkin riittävä määrä pitkäjuurten kärkiosia kiinni maahan, ja taimi voi selvitä. Tuhoa voi lieventää istuttamalla taimipaakut ”ylisyvään” eli 1,5—2 cm maanpinnan alapuolelle. Maan pinnalle nousseet paakut voidaan heti keväällä painaa uudestaan paikoilleen, ja toisen kesän päättyessä ne yleensä ovat jo ankkuroituneet maahan niin lujasti, että rouste ei niitä nosta. Yksikesäiset kylvötaimet voivat tuhoutua jo yhden yön rousteeseen.

Paljasjuurisina istutetut taimet eivät ole yhtä herkkiä rousteelle kuin paakkutaimet, sillä ne ovat vain muutaman millimetrin paksuisia ja siten tarttumapintaa jäätyvän maanpinnan kanssa on vähän. Koskemattomassa humuksen peittämässä maassa rousteilmiötä ei synny, mutta metsänviljely suoraan siihen ei tuota tulosta muista syistä. Käytännössä rousteiksi arvioidut maat pyritään muokkaamaan istutuskevättä edeltävänä loppukesänä siten, että maa kuivahtaisi keväällä tehtävän istutuksen jälkeiseen syksyyn mennessä. Istutusajaksi valitaan kevät, jotta taimet ehtivät kesän aikana tarttua riittävän lujasti maahan.

Kumpikaan tavoite ei pahoilla paikoilla toteudu. Maa pysyy kosteana, ja juuriston lujuus ei riitä estämään juuripaakun nousemista. Pahinta lienee sellainen kankaan ja suon raja-alue, missä soistumisen merkkejä ei vielä juurikaan näy, mutta humuksen alla kivennäismaan pinnassa on parin sentin paksuinen musta humuksensekainen maakerros, musta kura.



Kuva 28. Roustetta paljastetussa kosteassa moreenimaassa Kärsämäellä 29.10.1971. Yläkuva: Monitaiminen kennopaakku roustepilariston sisässä. Alakuva: Roustepilaristo poistettu etualalta. Jääpilarien korkeus 12 cm = tussikynän korkeus. Jään sullettua kennopaakku kaatui maan pinnalle täysin irrallisena. Kuvat Markku Turtainen.



Kuva 29. Rousteen nostamia kennotaimia. Taimet on istutettu edellisenä keväänä. Kuorittu kostea moreenimaa. Rovaniemi, Imari 2.6.1972.

Metsänuudistamisessa yleisin muokkauslaite on pintakasvillisuden ja humuksen noin 45—50 cm:n kaistoina poistava metsä-äes eli lautasaura. Alavilla ja hienojakoisilla mailla sen jälki on pahoin rousteinen. Ojitusmätästyksellä on toivottu rousteen haitat voitettavan, mutta näin ei ole käynyt. Mättään päällä rouste ei tosin ole yhtä paha kuin tasapinnassa, mutta kokonaan rousteilmiö loppuu vasta sitten, kun kivennäismaan pintaan on kasvanut yhtenäinen hieno sammalkerros, joka sitoo maanpintaa ja alentaa lämpötilan vaihtelua. Aikaa tähän kuluu 3—5 vuotta, pahimmilla paikoilla enemmänkin, sillä rouste estää myös sammalen juurtumista. Viljely on kuitenkin toteutettava heti muokkauksen jälkeisenä keväänä pintakasvillisuuden takia, sillä jo seuraavana vuonna se on yleensä liian voimakas kilpailija pienille taimille. Näin metsänviljelyssä viljavilla hienojakoisilla mailla joudutaan tekemään kompromisseja, joissa mikään tavoite ei ehkä toteudu toivotulla tavalla.

Tässä tutkimuksessa roustetuhoja oli kaikilla koealoilla. Jo 21 % ja 22 %:n hienoaainesosuudet moreenikoealoilla riittivät rousteen muodostumiselle. Muilla koealoilla rousteilmiö oli niin voimakas, että mättäissä se voidaan arvioida pahimmaksi taimien tuhoutumisen syyksi.

6. Viljelytulos

Tutkimus painottui maaperän ominaisuuksiin. Sen metsänhoidollisessa osassakin keskityttiin maaperän vaikutukseen taimien juuriin. Istutetuista 5 328 taimesta nostettiin ensimmäisen kesän päätyttyä neljännes eli 1 332 tainta. Kylvötaimia nostettiin 324. Taimista mitattiin verso-osan pituus ja akvaariomenetelmällä juuriston syvyys. Toisen kasvukauden jälkeen taimia ei enää nostettu, vaan niistä laskettiin elävät ja kuolleet ja mitattiin elävien pituus. Kolmannen kasvukauden jälkeen tehtiin vain silmävarainen tarkastus.

Tarkat tulokset kahden ensimmäisen kasvukauden ajalta on esitetty erillisessä raportissa (Kurki 1994). Ensimmäisenä kesänä sekä verson että juurten kasvu oli heikkoa. Mätästyyppi, mätäspaksuus ja kaltevuussuunta eivät vaikuttaneet. Eroa tuli vain maalajista. Juuristot kasvoivat parhaiten hietaisella hiekkamoreeniä koelaloilla I ja II. Kaikkien puulajien pituuskasvu oli paras hiesuisella hiedalla koelalalla III. Hiesu oli kylvöksille huonoin itämisalusta.

Toisen kasvukauden jälkeen mätäsmaan paksuuden vaikutus pituuteen oli havaittavissa. Kasvu oli paras mättäitten ohuilla laidoilla ja mättäiden ulkopuolella laikuissa tai koskemattomassa maassa. Jos juuristo istutettaessa jäi mätäsmaahan eikä ulottunut alla olevaan humukseen tai pohjamaahan, kasvu oli heikko. Pituuskasvu oli edelleen paras hiesuisella hiedalla. Mättään lappeen ilmansuunta pohjoinen - etelä ei vaikuttanut kasvuun.

Istutustaimien elossaolo oli paras mättäiden ulkopuolella ja mättään ohuessa reunassa ja alin paksuilla mättäillä. Maalajeista paras oli hietainen hiekkamoreeni, ja huonoin oli hiesu. Kuusen taimet olivat säilyneet parhaiten pohjoislapeilla; lappeitten elävien kuusten määräero oli kahdeksan prosenttia. Syynä lienee kuuselle liian voimakas haihdunta etelälapeilla, sillä kuusen neulasten rakenne ei ole samalla tavalla kseromorfinen kuin männyn. Muilla puulajeilla eroa ei ollut. Kylvöksissä maalajin vaikutus oli sama kuin istutuksissa eli hiekkamoreeni oli paras ja hiesu huonoin. Muuta eroa ei ollut.

Tuhoiksi todettiin seuraavat:

- hirvi oli paikoin syönyt koivuja
- rouste oli nostanut taimipaakkuja ylös
- sade-eroosio oli liottanut kylvötaimia irti maasta
- maan kuivumishalkeilu oli kuivattanut joitakin taimia.

Kolmannen kasvukauden jälkeen 4.10.1993 tehdyssä tarkastuksessa todettiin, että mätästyskoelajien viljelyn tulos oli edelleen heikentynyt. Pääosaksi viljelyt luokiteltiin tuhoutuneiksi. Maalajista johtuvia koelaloittaisia eroja oli jonkin verran. Seuraavassa mainittuja pituuksia verrattaessa on huomattava, että taimien alkupituudet olivat erilaiset, mänty 13, kuusi 24, rauduskoivu 73 ja hieskoivu 57 cm.

Koelat I ja II, Pyhänsivu, maalaji hietainen hiekkamoreeni (kuva 30).

- Mänty: pääosa kuollut, elossaolevat kituvia, pituus 25 cm, mätäskorkeus ei vaikuta.
- Kuusi: kituvia taimia, 30 cm, harjamättään yläosassa (maapaksuus 30—50 cm) taimet parempia kuin alempana.
- Koivut: Huonokuntoisia, mätäspaksuudella ei vaikutusta, mättäiden ulkopuolella laikussa ja koskemattomassa maassa taimia kuollut eniten, pituus 50 cm, hirvet syöneet pitkiä taimia.
- Kylvökset: pituus 5 cm, kuusi vähän mäntyä parempaa, mättäissä paras korkeus 0—30 cm, laikuissa ja koskemattomassa pinnassa vain muutama taimi.
- Patjamättään paksuus ei vaikuta, männyt 20 cm, kituvia, kuuset 30 cm, kituvia, koivut 80 cm, hirvi syönyt muutamia, rouste on nostanut taimia vähän joka patjasta.

Koela III, Koivikko, maalaji hiesuinen hieta (kuva 31).

- Mänty ja kuusi: laikussa, koskemattomassa maassa ja mättään ohuessa reunassa taimet 50 cm, hyväkuntoisia, mätäspaksuudella 15—30 cm 30 cm, kituvia, paksuudella 40—50 cm kuolleita tai erittäin huonoja.
- Koivut: laikussa, koskemattomassa maassa ja mättään rajassa 120 cm, eivät oikein voimakkaita, mättäällä maan paksuudesta riippumatta elinvoimaisia, pituus 150 cm.

- Kylvökset: vain muutama taimi elossa
- Patjamättään paksuus ei vaikuta, männyt lähes kaikki ja kuuset kaikki kuolleet, koi-
vut samanpituisia ja lähes yhtä elinvoimaisia kuin harjamättäissä, roustetuoja vä-
hän.



Kuva 30. Koealan II taimia kolmen kasvukauden jälkeen. Maa hietaista hiekkamoreenia. Muhos, Pyhänsivu. Kuva Ossi Juvonen.



*Kuva 31. Koealan III hiesuisella hiedalla taimet kasvoivat parhaiten. Ikä kolme kasvu-
kautta. Muhos, Koivikko. Kuva Ossi Juvonen.*

Koeala IV, Matokorpi, maalaji hiesu (kuva 32).

- Mätästaimet yleensä kuolleet. Mättäiden päällä muutama kituva koivu. Laikussa, koskemattomassa maassa ja ohuessa mätäsreunassa 20 cm:iin asti taimia elossa vähän enemmän, männyt ja kuuset 30 cm, koivut 130 cm.
- Kylvötaimet kaikki kuolleet
- Rouste nostellut taimia
- Patjamättään paksuus ei vaikuta, männyt kuolleet, kuusista elossa yksi, pituus 30 cm, koivuja muutama, pituus 90 cm.

Koeala V, Tiilitehdas, maalaji hiesu (kansikuva ja kuva 33).

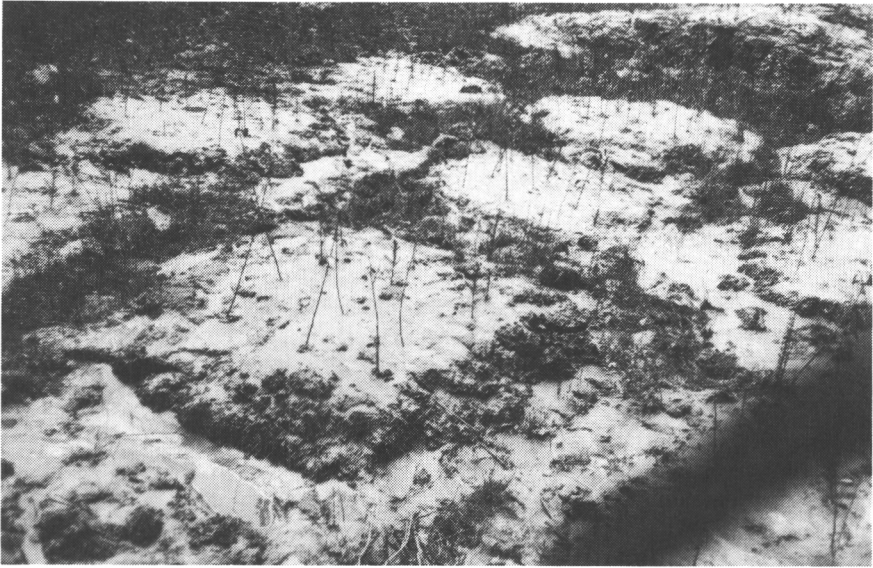
- Mänty ja kuusi: 40—50 cm:n mätäspaksuudella huonoja, alempana tyydyttäviä, pituus 30 cm.
- Koivut: huono tulos, mätäspaksuus 0—15 cm tyydyttäviä, pituus 90 cm, muut kuolleita.
- Kylvötaimet kaikki kuolleet.
- Patjamättäillä kaikki taimet kuolleet.

Koeala VI, Viskaali, maalaji savinen hiesu (kuva 17).

- Mänty ja kuusi: laikku, koskematon maa ja mättään ohut laita 0—10 cm taimet hyväkuntoisia, männyt 50 cm ja kuuset 40 cm, muualla kuolleita tai erittäin huonoja, männyt 30 cm ja kuuset 20 cm.
- Koivut: laikku, koskematon maa ja mättään ohut laita 0—10 cm hyväkuntoisia, pituus 170 cm, muualla kuolleita tai erittäin huonoja, pituus 70—80 cm.
- Rouste on nostellut istutustaimia jonkin verran.
- Kylvötaimia vain muutama mättään laidassa 0—15 cm:n mätäspaksuudella, pituus viisi cm.
- Patjamättäiden paksuudella ei vaikutusta, männyt hyväkuntoisia, 50 cm, kuuset huonoja, 40 cm, koivut tyydyttäviä, 120 cm.



Kuva 32. Koealan IV hiesu oli vaikeata maata. Kylvökset eivät lähteneet kasvamaan ja lähes kaikki istutustaimet tuhoutuivat kolmessa vuodessa. Kuvassa rousteen nostamia koivun paakkuja. Muhos, Matokorpi. Kuva Ossi Juvonen.



*Kuva 33. Etualalla 20 cm paksu patjamätäs koealalla V. Maa on hiesua. Pinta on kuu-
kaudessa liettynyt pahasti, vaikka sadetta on tullut vain 30 mm. Muhos, Tiilitehdas.
Kuva Esa Kurki.*

Mänty oli istutettaessa 11 cm lyhyempää kuin kuusi (13 ja 24 cm). Kolmen kesän aikana mänty oli keskimäärin tavoittanut kuusen. Vaikka luonnonoloissa kuusi menestyy hienojakoisella maalla paremmin kuin mänty, ei tämä ominaisuus tullut esiin kolmessa kasvukaudessa. Halla ei kuusten kasvua estänyt.

Raudus- ja hieskoivu poikkeavat luonnossa toisistaan kasvupaikkavaatimuksiltaan selvästi. Rauduskoivu ei menesty soilla eikä märillä kivennäismailla. Sen juuret tarvitsevat hyvän ilmanvaihdon. Hieskoivu on kosteiden paikkojen puulaji ja se menestyy jotenkin myös tiiviillä maapohjalla. Kuivahkoilla mailla sen kilpailukyky on heikko. Kasvupaikkavaatimusten erilaisuudesta huolimatta ei tässä työssä todettu koivulajien välillä mitään oleellista eroa kolmen kasvukauden aikana.

7. Maalajien määrittäminen maastossa

Uudistusalan muokkaustapa ratkaistaan uudistamissuunnitelmaa tehtäessä ennen päätehakkuuta. Jos maa on soistunut tai kostea, on tehtävä vaottava muokkaus, jolla kevään sulamisvedet ja kasvukauden aikaiset runsaat sadevedet johdetaan pois ja samalla saadaan maan pintakerros 20—30 cm:n syvyyteen riittävän ilmavaksi. Jos vesihaittaa ei ole mutta metsätyypistä pääteltävissä olevan viljavuuden takia tiedetään pintakasvillisuuden rehevöityvän avohakkuun jälkeen, valitaan tapa, jolla taimet saadaan tasapinnan yläpuolelle ja taimelle siten tulee vapaata kasvutilaa. Kaikkien näiden voitettavien haittojen taustatekijänä ja perussyynä on useimmiten tiivis hienojakoinen maa.

Myös karkea vettäläpäisevä maa voi olla tuoretta ja viljavaa, jopa käenkaalimustikkatyyppiä, jos topografinen sijainti on alava ja maan kerroksellisuus pitää pinnan kosteana. Nämä paikat eivät ole varsinaisesti ongelmapaikkoja, sillä niissä maa itsessään on ongelmaton, ja vaikeudet johtuvat vain pintakasvillisuudesta. Taimet kasvavat, jos pintakasvillisuus torjutaan, jopa ilman kuivatustakin.

Jos hienojakoisella maalla viljeltävän taimen kasvupaikka kunnostetaan ja pinta-kasvillisuuden kilpailu estetään, voi uudistaminen kuitenkin epäonnistua. Taimet eivät kasva ja elä. Käy niinkuin nyt esitetystä kokeesta on käynyt ja monesti normaalissa metsänuudistamistyössä käy. Syy on maaperässä ja sen fysikaalisissa ominaisuuksissa. Ne on opittava tuntemaan oikean ratkaisun tekemiseen riittävällä tarkkuudella. Tehtäviin ratkaisuihin ei ole maastokäyttöön sopivia laitteita ja maalaboratoriota, vaan kenttämiehen on tehtävä määritys silmä- ja käsivaraisesti. Ennen riittävän kokemuksen saamista epäonnistumisen mahdollisuus on hyväksyttävä.

Maalajitteet ja niiden rajaläpimitat millimetreinä ovat — jättämällä lohkarieet, kivet ja sora pois — 2 — hiekka — 0,2 — hieta — 0,02 — hiesu — 0,002 — savi (saves) —. Usein hiekka ja hieta on tarpeellista jakaa kahteen osaan, karkeaan ja hienoon. Väliarajat ovat 0,6 ja 0,06 mm. Metsänhoidossa jälkimmäinen luku, karkean ja hienon hiedan raja, on monesti merkitsevä.

0,06 mm:n kohdalla maahiukkasten ja maaveden käyttäytymistapa muuttuu. Rajan hienommalla puolella kapillaarinen vedennousu voimistuu, painovoima tavallaan menettää merkityksensä ja maahiukkaset ikäänkuin kelluvat vedessä. Maa on märkänä juoksevaa, valuvaa, se ei kelpaa rakennus- ja tietöihin, ja istutusmaana se on pahasti rousteista. Vesi täyttää huokostilan, ja juurten hengitys lähes estyy. Kuivalla aikaa se kovettuu, ”betonoituu”. Hieno hieta, karkea hiesu ja hieno hiesu ovat tällaisia maalajitteita, hieno hieta tosin hiesua lievemmin. Niiden yhteisnimi on siltti. 0,002 millimetrin kohdalla tapahtuu muutos. Savisissa maissa syntyy mururakenne, huokostila kasvaa ja juurten ilmanvaihto on turvatumpaa kuin siltissä.

Maa on harvoin yhdestä maalajitteesta syntynyt. Esimerkiksi moreenissa voi soran ja hiekan lisäksi olla hienoja aineksia eli 0,06 mm hienompaa ainesta vain muutama prosentti tai useita kymmeniä prosentteja. Jos maan hienoainesosuus on yli 30 %, ei männyn viljelyä ole syytä suositella. Jos osuus on yli 40 %, on rauduskoivulla jo vaikeuksia. Häiriöttömän taimikkovaiheen jälkeen ongelmat voivat näkyä mm. pituuskasvun alenemisena ja latvan haaromisena. Kuusi menestyy 60—70 %:iin asti. Jos maan hienoainesosuus on korkeampi, on hieskoivu pääosassa Suomea ainoa mahdollinen puulaji, mutta sekään ei pahimmilla paikoilla kasva hyvin. On metsämaastokuvioita, joiden maaperässä hienoja aineksia on 80—90 %. Tämän kokeen koealoista I:llä ja II:lla moreenimaa oli edellisen mukaan sopivaa männylle — vaikka taimet menestyivätkin jostakin syystä heikosti, on ympärillä hyviä tiheitä luonnontaimikoita ja varttuneita männiköitä — ja muiden koealojen hienojakoinen maa vain hieskoivulle.

Mätästettäviksi valittavat kohteet ovat yleisesti hienojakoisia maita, so. alavia kankaita, tiivispohjaisia soistumia ja metsitettäviä peltoja. Hiekkamoreenimaata ei tämän kokeen mukaan saa mätästää, sillä taimien kuolleisuus oli korkea ilmeisesti maan kesäaikaisen kuivumisen takia. Hienojakoisilla mailla oikean ratkaisun tekemiseksi on selvitettävä hiesun ja saveksen osuus, hiedalla merkitystä on vain vähän ja hiekalla ei oikeastaan yhtään. Aistinvarainen ohje maalajitteiden määrittämiseksi kuuluu: ”Hiekan näkee, hiedan tuntee, hiesun maistaa ja saveksen haistaa”. Hiekan lisäksi karkean hiedan muruset voi nähdä. Karkean hiedan tuntee sormissa ja hienon hiedan hampaissa. Hiesulla on usein oma makunsa, taikinamainen, hieman imelä ja sinänsä miellyttävä, ei tosin aina. Savi haisee miedosti. Maan maistamista ja hankaamista hampaissa ei saa arastella.

Jos maa olisi vain yhtä sekoittumatonta lajitetta, olisi määritys helppoa. Näin ei ole, vaan hiesun seassa on yleensä hietaa ja savea. Jos kosteasta maasta saa kämmenvälissä rullatessa syntymään sentin pituudelta millin - puolentoista paksuista tankoa, on savi-suutta niin paljon, että mururakenne syntyy, hiesun ongelma vähenee ja taimien kasvuun voi luottaa. Jos tankoa ei synny ja toisaalta karkeutta ei ole, on kyseessä hiesu ja toistaiseksi lähes ratkaisematon viljelyongelma.

Hienojakoiset maat ovat viljavia, sillä ravinteita luovuttavaa pintaa on niissä paljon. Metsänhoidossa ne pitäisi saada tuottamaan puuta, koska toiminnalla on taloudellinen päämäärä. Jos otetaan tasarakeista keskiahiekkaa ja otaksutaan rakeet palloiksi, on yhden neliömetrin laajuudessa ja kymmenen senttimetrin paksuisessa maakappaleessa todellista pintaa vähän yli kolme aaria. Vastaavasti keskiahiesussa pintaa on yli kolme hehtaaria. Koska mineraaliainepinnasta jatkuvasti liukenee maavesiin hiukkasia, myös ravinteita, on hienojakoinen maa viljavampaa kuin karkea. Huonojen fysikaalisten ominaisuuksien takia tätä viljavuutta ei hiesumailla saada käyttöön. Tämä on metsänuudistajalle ja -kasvattajalle haastava tilanne. Maaperän tunteminen on ratkaisun pohja.

8. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään eri kivennäismaalajien ominaisuuksia ja niiden vaikutusta männyn, kuusen, rauduskoivun ja hieskoivun taimien menestymiseen eri mätäspaksuuksilla. Samalla pyrittiin löytämään vastaus käytännössä usein esitettyyn kysymykseen erityisesti hienojakoisten maiden mättään oikeasta paksuudesta. Tutkimuksen nyt käsillä olevassa osassa keskityttiin eri maalajien fysikaalisten ominaisuuksien vertailuun. Metsänhoidollista sovellusta on tarkasteltu vähemmän. Maalajinäytteistä määritettiin raekoostumus, ominaispinta, vesipitoisuus, humuspitoisuus, huokoisuus, kyllästysaste, tilavuuspaino, veden- ja ilmanläpäisevyys, kapillaarisuus, kokoonpuristuminen sekä pH ja sähkönjohtavuus. Lisäksi koealoilla seurattiin pohjaveden pinnan vaihtelua ja mättäiden lämpötiloja sekä silmävaraisesti rousteilmiötä. Säätökijöistä otettiin tarkasteluun sateisuus ja lämpötila. Yhteensä mitattuja tekijöitä oli 17.

Tutkimuksessa oli painotus hienoilla maalajeilla. Karkeampana vertailumaalajina oli moreeni. Raesuuruusanalyysien perusteella koealojen mättäiden maalajeiksi saatiin seuraavat maalajit: koealat I ja II hietainen hiekkamoreeni, koeala III hiesuinen hieta, koealat IV ja V hiesu ja koeala VI savinen hiesu. Huolimatta siitä, että mukana oli vain neljä eri maalajia, ovat ne tutkimuksen kannalta sitäkin keskeisempiä. Suomen yleisin maalaji on moreeni, joka ei yleensä tuota metsänviljelyssä ongelmia. Sen sijaan jo pitkään on ollut tiedossa hienojakoisten maiden ongelmallisuus metsänuudistamisessa. Tutkimukseen saatu maalajien ryhmä hiesuinen hieta, hiesu (kahdesti) ja savinen hiesu ja niille vertailuna hietainen hiekkamoreeni oli tavoitteen ja ongelman selvittämisen kannalta paras mahdollinen yhdistelmä. On kuitenkin syytä korostaa, että tutkimuksessa mukana olleiden hiesukoealojen materiaali oli heikosti vuosikerrallista punaharmaata Ancylys-järvivaiheessa kerrostunutta savipitoista glasiaalihiesua, eikä vastaa paremmin lajittunutta hiesuainesta. Hiesuisen hiedan ja savisen hiesun mättäiden materiaalina käytetty tumman harmaa sulfidipitoinen aines lienee peräisin Litorinakaudelta. Glasiaalihiesun ja sulfidipitoisen materiaalin koostumusta ei siis voida suoraan rinnastaa moreenin hienoaineksen koostumukseen.

Raekoostumuksella on suuri merkitys maalajin muihin ominaisuuksiin, ja siten myös taimien menestymiseen. Ongelma näyttää keskittyvän hiesuun eli 0,02—0,002 mm:n läpimitta-alueelle. Savilajitteen eli <0,002 mm läpimittaisten rakeiden osuus ei ollut ratkaiseva taimien menestymisen kannalta ainakaan kielteiseen suuntaan; mitattiinhan savisen hiesun mättäistä, joilla oli tutkimuksessa mukana olleista maalajeista suurin savifraktion osuus (15 %), yhdessä hiesuisen hiedan mättäiden kanssa suurimmat taimien pituuskasvut toisen kasvukauden jälkeen. Savensekaisuus siis paransi hiesun ominaisuuksia. Hiesun korkea ravinteisuus tuli näin puiden käyttöön muiden maalajit-
teiden avulla.

Maalajin humuspitoisuudella saattoi olla taimien menestymiseen vaikutusta, mutta varmaa näyttöä siitä ei saatu. Savisen hiesun mättäät sisälsivät muita maalajimättäitä enemmän humusta, mikä vaikuttaa osaltaan positiivisesti maan ravinneoloihin.

Vesipitoisuudella ei näyttänyt olevan suoraa vaikutusta taimien menestymiseen. Pelkästään vesipitoisuuksia tarkastelemalla voidaan arvioida, että moreenimaan taimet ovat paksuilla mätäskohdilla voineet kärsiä kuivuudesta. Kuitenkaan vesipitoisuus yksinään ei riitä taimien menestymisen selittäjäksi. Liikaa märkyyttä ei millään koealalla liene ollut. Myöskään pelkkä huokoisuus ei selittänyt taimien menestymistä. Tärkeämpää on näistä kahdesta ominaisuudesta johtuva veden ja ilmatilan osuus huokosissa sekä maalajin tilavuuspaino. Maalajeista hietaisella hiekkamoreenilla oli suurin huokosten ilmatila, ja se mahdollisti parhaimman juurten kasvun.

Laboratoriossa mitattujen keskimääräisten märkätilavuuspainojen perusteella taimien juurilla on ollut riittävästi vettä käytettävissä. Toisaalta hiesumättäiden huokosista osa on luultavasti umpihuokosia tai kooltaan hyvin pieniä, ja hiesun keskimääräiset märkätilavuuspainot olivat kirjallisuudessa esitettyjä optimiarvoja suurempia. Tämän perusteella voidaan olettaa, että vesi on voinut poutakausina olla hiesumättäissä niin tiukasti maahiukkasten pinnoille sitoutuneena, että juurten on ollut vaikeata saada riittävästi vettä. Mitään vedenpuutteen merkkejä ei kuitenkaan havaittu. Tuhoutumiseen oli muu syy.

Lisäksi ilmanläpäisevyydellä on merkitystä taimien menestymiselle. Hietainen hiekkamoreeni läpäisi ilmaa hyvin, joten taimien juuret eivät kärsineet happivajauksesta. Tiiviillä maalla hapen saanti voi olla kasvun minimitekijä, mutta tässä kokeessa se ei päässyt esille, koska mättäisiin syntyi muutamassa viikossa kuivumiskutistumahalkeamia, joiden kautta maan tuuletus tuli riittäväksi.

Myös vedenläpäisevyydellä oli oma merkityksensä taimille. Hietainen hiekkamoreeni läpäisi vettä melko hyvin, mutta muilla maalajeilla mättäiden halkeamilla oli ratkaiseva merkitys taimien veden saannin kannalta. Kapillaarisella nousukorkeudella ei näyttänyt olevan merkitystä taimien menestymiseen. Kapillaarinen yhteys mättäiden aineksen ja pohjaveden välillä oli jonkin aikaa poikki mättäiden rakentamisen jälkeen. — Mättäiden kokoonpuristuvuudella ei ollut merkitystä taimien menestymiseen. Kokoonpuristuminen oli kaikilla maalajeilla suhteellisen pientä.

Kemiallisista ominaisuuksista määritettiin maalajin pH ja sähkönjohtavuus. Näillä kummallakaan ei ollut merkitystä taimien menestymisen kannalta. Maalajien keskimääräiset pH:t eivät olleet yhdenmukaiset sen kanssa, mitä eri metsätyyppien maan happamuudesta tiedetään ja mihin metsätyyppihin koealat kuuluivat. Tuloksiin ja johdopäätöksiin tämä ristiriita ei vaikuttanut.

Kaikki tutkimuksessa mukana olleet maalajit olivat routivia eli rousteelle alttiita, myös moreenikoealojen I ja II maat, joilla hienoainesosuus oli 22 ja 21 %. Rousteisuudella oli ratkaiseva merkitys taimien menestymiselle viljelyn jälkeisenä parina kasvukautena, ja normaalissa metsänviljelyssä pahimpien rousteaikkujen vaikutus ulottuisi metsän harvuuden takia koko kiertoajalle. Rouste oli nostellut taimia ylös kaikista maalajeista, siis myös hietaisista hiekkamoreenimättäistä. Lisäksi hiesumättäiden aines oli valunut. Roudan vaikutus savisen hiesun ja hietaisen hiedan mättäisiin oli puolestaan positiivinen, sillä se oli muuttanut mättäiden aineksen kuohkeammaksi ja entistä murmaisemmaksi. Tämä toiseen kasvukauteen mennessä tapahtunut muutos oli kuitenkin metsitystuloksen kannalta myöhässä, sillä pääosa taimien tuhoutumisesta tapahtui jo ennen toista kasvukautta. *Mättäät olisi pitänyt tehdä istutusta edeltäneenä syksynä*, ja siten niiden maan rakenne olisi ehtinyt muuttua taimille sopivammaksi talven aikana. Käytännössä mätästys tehdäänkin yleensä viljelyä edeltävänä kasvukautena.

Maastossa mitatut mättäiden lämpötilat ja pohjaveden pinnan vaihtelut sekä sade- määrät ja ilman lämpötilat eivät selitä taimien menestymistä tässä tutkimuksessa. Mänty, kuusi ja koivut ovat sopeutuneet hyvin tutkimusalueen ilmastoon, eikä se luonnolli- sesti aseta mitään rajoituksia normaalille kasvuille. Kuusen nuoria kasvaimia tuhoavia halloja ei ollut, ja toisaalta taimien istuttaminen mättäille turvaa ne jopa monen asteen hallalta. Pohjavesipinta on maaston topografian ja vanhojen ojitusten takia riittävän alhaalla. Vain koealalla V se kävi heinäkuun alussa lyhytaikaisesti 12 cm:n päässä maan- pinnasta. Ei edes laikkuihin istutettujen taimien todettu kärsineen. Vaikka koealalla VI paineinen pohjavesi nousi tiiviin maakerroksen alta 1,7 metrin syvyydestä pohjavesi- kaivoissa yli maanpinnan koko kesien ajan, se ei haitannut istutustaimia, koska tiivis maa piti pohjavesiputkia lukuunottamatta pohjaveden syvällä.

Taulukkoon 4 on koottu ominaispintaa lukuunottamatta kaikki tutkimuksessa mita- tut maalajien ominaisuudet ja niiden merkitsevyys taimien menestymisen kannalta. Taulukon avulla voidaan selittää taimien menestyminen jokseenkin kattavasti. Tärkeim- mät ominaisuudet ovat raekoostumus, veden ja ilmatilan osuus, tilavuuspaino sekä rouste. Merkitseviä ovat myös huokoisuus, ilmanläpäisevyys, vedenläpäisevyys ja humuspitoi- suus. Mitatuista ominaisuuksista merkityksettömiksi osoittautuivat vesipitoisuus, ka- pillaarisuus, kokoonpuristuminen, pH, sähkönjohtavuus, pohjaveden syvyys, mättäid- en maan lämpötila, ilman lämpötila ja sateisuus. Tiivistäen voidaan sanoa, että ratkai- sevaa on yksi ainoa ominaisuus, maan raekoostumus. Kaikki muut vaikuttavat tekijät humuspitoisuutta lukuunottamatta ovat siitä riippuvia. On mahdollista, että myös omi- naispinnan ja muiden ominaisuuksien vertailulla olisi saatu sovelluskelpoista tietoa.

Mitatuista 17 tekijästä olisi ilmeisesti 15 voitu jättää pois tuloksen kärsimättä. Vain yksi, maan raekokojakauma, riitti tulosten tulkintaan. Sen ohessa ominaispinta voi olla merkittävä selittäjä, mutta aineisto oli liian niukka päätelmän tekemiseen. Turhaksi voidaan arvioida yhdeksän tekijän — maan vesipitoisuuden, kapillaarisuuden, kokoon- puristumisen, pH-arvon, sähkönjohtokyvyn, pohjaveden pinnan, maan lämpötilan, sa- teisuuden ja ilman lämpötilan — mittaaminen ja päätulosta tukevaksi kuuden tekijän — humuspitoisuuden, huokoisuuden, kyllästysasteen, tilavuuspainon, vedenläpäisevyy- den ja ilmanläpäisevyyden — mittaaminen. Koska tutkimus oli esitutkimuksen luon- toinen, tämä ”turha” työ on perusteltavissa.

Maalajien ominaisuuksien lisäksi ratkaisevan tärkeä taimien menestymiselle oli mättäiden aineksen rakenne eli maan tekstuuri, joka sekin riippuu raekoostumuksesta. Tämä tuli selvästi esille varsinkin savisten hiesumättäiden ja hiesuisten hietamättäiden kohdalla. Mättäiden aines muuttui jo ensimmäisen kesän aikana mättäiden rakentami- sen ja kuivahtamisen jälkeen murumaiseksi. Ensimmäisen talven 1991—92 aikana ta- pahtunut routiminen muutti mättäiden aineksen rakennetta entistä kuohkeammaksi ja murumaisemmaksi. Laboratoriomäärityksiä varten otetut maanäytteet otettiin jo kesän 1991 alussa, jolloin koealojen mättäät olivat vielä rakenteeltaan tiiviitä ja kovia. Tästä syystä ko. maalajeista määritetyt ominaisuudet eivät vastaa myöhempää tilannetta, sillä näiden koealojen mättäiden ominaisuudet muuttuivat mitattuja arvoja paremmiksi tai- mien menestymisen kannalta. Toisaalta juuri ensimmäinen kesä on taimilla ratkaiseva. Jos ne silloin maan huonojen ominaisuuksien takia tuhoutuvat, ei maan muuttuminen myöhemmin korjaa tilannetta. Vastakohtana savisen hiesun murumaiselle rakenteelle olivat rakenteeltaan hyvin tiiviit hiesumättäät, jotka olivat kosteina juoksevia, valuvia, ja kuivina kovia. Tulos viittaa siihen, että aineksen savipitoisuus voi olla merkittävä tekijä taimien menestymisen kannalta. Tehty tutkimus viittaa siihen, että saven ja savi- osuuden vaikutusta maan rakenteeseen pitäisi tutkia tarkemmin.

Verrattaessa laikusta ja eri mätäskorkeuksista mitattuja ominaisuuksia nähtiin, että laikusta ja matalista mätäskohdista mitattiin suurempia vesi- ja humuspitoisuuksia sekä

paljon suurempia huokoisuuksia (varsinkin hiesukoealalla IV ja savisen hiesun koealalla VI) kuin korkeilta mätäskohdilta. Suuremmat huokoisuudet merkitsevät myös suurempaa ilmatilan osuutta huokosista. Lisäksi varsinkin laikusta mitattiin laboratoriossa pienempiä tilavuuspainoarvoja kuin mättäistä, mikä mahdollistaa juurten paremman veden saannin. Myös laikusta mitatut ilmanläpäisevyydet olivat suurempia kuin mättäistä mitatut. Lisäksi matalat mätäskorkeudet istutuskohtana sallivat juurten ulotumisen mättään läpi muokkaamattoman maan löyhään karike- ja humuskerrokseen. Nämä seikat selittänevät sen, että taimet menestyivät parhaiten matalilla mätäskorkeuksilla, noin 0—15 cm paksuisissa mättäissä, sekä myös koskemattomassa maassa ja laikussa, lukuunottamatta hietaisen hiekkamoreenin koealoja, joissa männyn ja kuusen kasvu näytti olevan melko riippumaton mätäspaksuudesta.

*Taulukko 4. Tutkimuksessa mitatut maalajien ominaisuudet ja niiden merkitsevyys taimien menestymisen kannalta. 0 = ei merkitystä taimien menestymiselle, * = merkitys vähäinen, ** = merkitys kohtalainen, *** = suuri merkitys.*

Tutkitut ominaisuudet	Merkitsevyys
Koostumusominaisuudet	
Raekoostumus	***
Humuspitoisuus	*
Rakenneominaisuudet	
Vesipitoisuus	0
Huokoisuus	**
Veden ja ilmatilan osuus huokosista	***
Tilavuuspaino	***
Ilmanläpäisevyys	**
Hydrauliset ominaisuudet	
Vedenläpäisevyys	**
Kapillaarisuus	0
Rouste	***
Kokoonpuristuvuusominaisuudet	
Kokoonpuristuminen	0
Kemialliset ominaisuudet	
pH	0
Sähkönjohtavuus	0
Muut ominaisuudet	
Pohjaveden syvyys	0
Mätäsmaan lämpötila	0
Sademäärä	0
Ilman lämpötila	0

Kylvö ei osoittautunut käyttökelpoiseksi missään. Pienet kylvötaimet ovat erittäin alttiita mätäspintojen vähäisellekin rousteelle ja kuivahtamiselle. Myös rankkasade irrottelee niitä mätäsmaan valuessa. Mättään laidassa ne tuhoutuvat pintakasvillisuuteen. Mätästys ja kylvö eivät kuulu yhteen.

Metsänviljelyn vaikeudet keskittyivät hiesuun. Se poikkesi useimmissa mitatuista tekijöistä keskiarvosta eniten ja taimien kannalta kielteiseen suuntaan. Hiesumaa oli painavinta, sen vedenläpäisevyys maastossa oli heikointa, ilmanläpäisevyys samoin heikointa, kokoonpuristuminen pienintä, se oli emäksisintä, siinä pohjaveden pinta reagoi sateisiin vähiten, se oli kylmintä maata ja rousteisuus oli siinä pahinta. Kaikkien puulajien juuristot kehittyivät siinä huonoimmin. Istutus- ja eritoten kylvötulos oli siinä heikoin. Kun hiesuun oli sekoittunut riittävästi hietaa tai savesta, haitat poistuivat lähes kokonaan.

Käsillä oleva tutkimus on luonteeltaan perus- ja esityö, jossa selvitettiin lähinnä maaperän ominaisuuksia. Luotettava sovellus metsänviljelyyn edellyttää käytännön mätästystä lähemmin vastaavan kokeen perustamista. Viljelytuloksen ennustamista varten maan raakoostumus tai jokin muu soveltuva tunnus — ehkä maan ominaispinta — on selvitettävä ja opittava sen tulkitseminen, muokkausajankohta on opittava rajoittamaan, rousteen syntymiseen ja ominaisuuksiin on perehdyttävä ja puu- ja taimilaji on valittava oikein. Pintakasvillisuuden liiallisen läpikasvun takia ohuissa mätäissä on mättään paksuuden, maalajin ja kasvupaikan muiden ominaisuuksien vertailu ja kasvilajien nimeäminen tarpeellinen. Sarkaleveys ja ojien syvyys ovat teknisiä tekijöitä, joilla ilmeisesti ei ole vaikutusta maan ominaisuuksiin, jos vesihaittoja ei ole. Ojitustarve ja sen toteuttamistapa voidaan päätellä käytännön tuntemuksen perusteella.

9. Tiivistelmä

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään maan ominaisuuksien vaikutusta eri puulajien taimien menestymiseen ojitusmätästetyllä metsänuudistusalalla. Muhoksen kunnan alueelle perustetuille kuudelle koealalle tehtiin viisi lakikorkeudeltaan 50 cm olevaa harjamaista mätästä, joiden lappeet olivat pohjoiseen ja etelään, sekä 5 cm, 10 cm ja 20 cm korkuisia patjamaisia mätäitä, kolme kappaletta kutakin. Mätäisiin istutettiin männyn, kuusen, rauduskoivun ja hieskoivun paakkutaimia. Lisäksi harjamätäisiin kylvettiin männyn ja kuusen siemeniä.

Tutkimuksessa oli kaksi painoalaa, maan ominaisuudet ja niiden vaikutus taimiin ja toisaalta taimien menestyminen metsänuudistamisen kannalta eli metsänviljelyn tulos. Nyt käsillä olevassa työssä keskityttiin ensiksi mainittuun painoalaan ja siinä eri maalajien fysikaalisten ominaisuuksien vertailuun. Maanäytteistä määritettiin raakoostumus, ominaispinta, vesi- ja humuspitoisuus, huokoisuus, kyllästysaste, tilavuuspaino, veden- ja ilmanläpäisevyys, kapillaarisuus, kokoonpuristuminen sekä pH ja sähköjohtavuus. Lisäksi koealoilla seurattiin pohjavedenpinnan vaihteluja sekä mätäiden lämpötiloja ja rousteisuutta. Jälkimmäisestä painoalasta — taimien menestymisestä — on laadittu kahden ensimmäisen vuoden ajalta erillinen raportti (Kurki 1994). Tässä julkaisussa esitellään lyhyesti metsänviljelyn tulos kolmen kasvukauden ajalta.

Koalojen maalajit olivat hietainen hiekkamoreeni, hiesuinen hietä, hiesu ja savinen hiesu. Tutkituista maalajien ominaisuuksista merkittäviä taimien menestymisen kannalta tässä tutkimuksessa olivat raakoostumus, huokoisuus, veden ja ilmatilan osuus huokosista, tilavuuspaino, ilman- ja vedenläpäisevyys sekä routivuus. Kaikki mainitut tekijät ovat vahvassa riippuvuudessa ensinmainittuun eli raakoostumukseen. Näiden lisäksi ratkaisevaa oli myös mätäiden aineksen (seka-)rakenne, joka tuli esille varsinkin savisten hiesumätäiden murumaisen rakenteen edullisena vaikutuksena taimille. Toisaalta puhtaat hiesumätäät olivat rakenteeltaan hyvin tiiviitä ja kovia. Hiesu oli taimille huonoin kasvualusta. Tässäkin on kysymyksessä maan raakoostumus.

Edellä mainitut taimien menestymiselle keskeiset maan ominaisuudet liittyvät vahvasti maan hienoainespitoisuuteen. Yleinen tapa läpimitaltaan alle 0,06 mm olevan osuuden eli siltin — hienon hiedan ja hiesun — määrittäminen voi auttaa useassa tapauksessa ratkaisun löytämisessä ja tuloksen ennustamisessa riittävän luotettavasti. Toisaalta maarakeiden muoto ja siitä riippuva ominaispinta eli maan painoyksikön rakeiden kokonaispinta-ala voi olla ratkaisevampi kuin pelkkä raekokojakauma. Menetelmä pinta-alan mittaamiseen on kehitetty. Tämä työ oli esitutkimus, joka antoi viitteitä ominaispinnan merkityksestä ja jota tulisi jatkaa keskittymällä nimenomaan hienoaineksen ominaisuuksiin ja vaikutukseen maan rakenteeseen ja taimien menestymiseen. Eriksen pitäisi tutkia myös maan savipitoisuuden vaikutusta maan rakenteeseen. Saveksen lisääntyminen ja silttiosuuden aleneminen näyttää vähentävän metsityksen vaikeuksia maan rakenteen muuttuessa rakeisemmaksi. Mätästettävien maiden — jotka hyvin yleisesti ovat hienojakoisia — uudistamisongelma odottaa näiden kysymysten ratkaisua.

Käytännön metsänviljelyä varten annetaan tutkimuksen ja muiden havaintojen perusteella seuraavat ohjeet.

1. Mätästykseen valitaan ensi sijassa hienojakoiset maat. Karkeilla mailla voidaan käyttää halvempaa menetelmää.
2. Mätästys tehdään viljelykevättä edeltävänä loppukesänä, jolloin maan hienorakenne (mururakenne, huokoisuus) ehtii parantua ennen taimien istutusta. Jos mätästys tehdään jo alkukesästä, ehtii pintakasvillisuus uudelleen lähteä kasvuun ja on istutuskeväästä alkaen vahva kilpailija.
3. Mättäät rakennetaan niin ohuiksi, että taimien juuret istutettaessa saadaan ulottumaan humukseen.
4. Hienojakoisen maan mätästä ei koneen kauhalla paineta tiivispintaiseksi.
5. Karkeahkoa moreenimaata ei mätästetä.
6. Puulaji valitaan maan raekoostumuksen mukaan muistaen, että mänty ja rauduskoivu eivät ole hienojakoisen maan puulajeja. Virheratkaisu todetaan viimeistään taimikkovaiheen jälkeen.
7. Mätästys ja kylvö eivät kuulu yhteen.
8. Puhtaalla hiesulla voidaan edellisistä huolimatta epäonnistua.

Kirjallisuus

- Aaltonen, V.T. 1940. Metsämaa. Porvoo-Helsinki. WSOY. 615 s.
- Airaksinen, J.U. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Oulu. 248 s.
- Buckman, H.O. & Brady, N.C. 1969. The nature and properties of soils. London. 5th edition. 309 s.
- Enkovaara, A., Härme, M. & Väyrynen, H. 1953. Suomen geologinen yleiskartta. Kivilajikartan selitys. Lehdet C5-B5, Oulu-Tornio. Geologinen Tutkimuslaitos. Helsinki. 153 s.
- Eronen, M. 1983. Late Weichselian and Holocene shore displacement in Finland. Teoksessa: Dawson, A.G. & Smith, D.E. (toim.): Shorelines and Isostasy, s 183-207, Academic Press.
- Havas, P. 1977. Kasviekologian perusteet. Oulun yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita no 1. 156 s.
- Heinonen, T. & Lukkari, T. 1987. Puulajien kasvupaikkavaatimukset. Alustavia tuloksia männyn, kuusen ja rauduskoivun viljelyn onnistumisesta Nurmeksessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 283. 19 s.

- Helenelund, K.V. 1964. Moreenimaalajien kantavuusominaisuuksia. VTT Sarja III-rakennus 79. Helsinki.
- 1979. Maarakennusmekaniikka 137. Otakustantamo. 278 s.
- Huikari, O. 1955. Experiments on the effect of anaerobic media upon birch, pine and spruce seedlings. Selostus: Kokeita kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koi-vun, männyn ja kuusen taimiin. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 42(5):1-12.
- Jauhiainen, E. 1970. Metsämaan muokkauksen ekologisia vaikutuksia. *Metsä ja Puu* 1970(2):12-14.
- Kaila, S. & Päivänen, J. 1978. Maanmuokkauksen tavoitteet. *Metsä ja Puu* 1978(3):22-25.
- Kalla, J. 1960. Muhoksen muodostuman alueella, Limingan Tupoksella suoritettu sy-väkairaus. *Vuoriteollisuus* 1960(1):53-54.
- Kauppila, A. & Lähde, E. 1975. Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. *Folia Forestalia* 230. 29 s.
- Kinnunen, K. 1976. Maanmuokkauksen vaikutus erilaisten paljasjuuri- ja paakkutaimien alkukehitykseen. *Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja* 3. Parkano 1976. 10 s.
- Koivisto, V. 1976. Metsämaan ilmapuudesta ja sen parantamisesta. *Metsä ja Puu* 1976(3):4-6.
- Korhonen, H. & Porkka, M.T. 1975. Seismic soundings at the Muhos formation. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 47:19-24.
- Kurki, E. 1994. Männyn, kuusen, raudus- ja hieskoivun paakkutaimien alkukehitys sekä männyn ja kuusen kylvösiemenen itäminen ojitusmätästetyillä koealoilla Mu-hoksella. *Metsänhoitotieteen pro gradu-työ*. Helsingin yliopisto.
- Laiho, O. 1979. Taimikehitys metsänhoitoyhdistyksen mätästysaloilla. *Metsäntutkimus-laitos, Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja* 8. Tutkimuspäivän esitykset. 4 s.
- 1983. Ongelmallisten metsänviljelykohteiden maanpinnan valmistus. *Metsäntutki-muslaitoksen tiedonantoja* 137:30-42.
- Lehto, J. 1969. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojuspuumenetelmällä. Summary: Studies conducted in northern Finland on the regeneration of Scots pine by means of the seed tree and shelterwood methods. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 67(4):1-140.
- Leikola, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suo-messa. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 84(2):1-64.
- Lähde, E. 1974. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Selostus: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. *Communicationes Instituti Fores-talia Fenniae* 84(3):1-23.
- & Pohjola, T. 1975. Maan käsittelyn vaikutus männyn- ja kuusentaimien alkukehi-tykseen. *Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja* 8. 29 s.
- 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn- ja kuusentaimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical proper-ties of the soil and development of Scots pine and Norway spruce seedlings. *Com-municationes Instituti Forestalia Fenniae* 94(5):1-59.
- , 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. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 98(7):1-43.
- Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita. Osa II. Tie- ja vesirakennushallitus 1970.
- Mannerkoski, H. & Möttönen, V. 1990. Maan vesitalous ja ilmatila metsäaurausalueilla. *Silva Fennica* 1990, vol. 24 no 3:279-301.
- Mutka, K. & Lähde, E. 1977. Effect of soil treatment, liming and phosphate fertilizati-on on initial development of barerooted Scots pine transplants. Seloste: Maan käsit-telyn, kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 91(3):1-57.
- Mälkönen, E. 1972. Näkökohtia metsämaan muokkauksesta. Summary: Some aspects concerning of forest soil. *Folia Forestalia* 137. 11 s.

- Pohtila, E. 1977. Reforestation on ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa. Communicationes Instituti Forestalia Fenniae 91(4):1-100.
- Purokoski, P. 1958. Die Schwefelhaltigen Tonsedimente in dem Flachlandgebiet von Liminka im lichte Chemischer Forschung. Selostus: Limingan tasankoalueen rikkipitoiset savisedimentit kemiallisen tutkimuksen valossa. Agrogeologia julkaisuja no 70. 88 s.
- Raitio, H. 1983. Hypoteesi männyntaimien kasvuhäiriöiden synnystä taimitarhoilla ja kivennäismailla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 116:1-15.
- Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 1987. Geotekniikka 464. Otakustantamo. 293 s.
- Raulo, J. & Rikala, R. 1981. Istutettujen männyn, kuusen ja rauduskoivun taimien alkukehitys eri tavoin käsiteltyllä viljelyalalla. Folia Forestalia 462. 13 s.
- Repo, R. 1993. Maalajin vaikutus taimien kehitykseen ojitusmätästetyllä metsänuudistusalalla. Pro gradu -työ. Oulun yliopisto, geologian laitos. 76 s.
- 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. Communicationes Instituti Forestalia Fenniae 92(7):1-37.
- Sauramo, M. 1926. Suomen geologinen yleiskartta. Maalajikartan selitys. Lehti C4, Kajaani. Suomen Geologinen Toimikunta. Helsinki. 80 s.
- Simonen, A. 1980. The Precambrian in Finland. Geological survey of Finland, Bulletin 304. 58 s.
- Soveri, U. & Kauranne, L.K. 1972. Rakennusgeologia I. Suomen rakennusgeologia 272. Otakustantamo. 194 s.
- Starr, M., Levula, T. & Heikkilä, R. 1982. Männyn ja kuusen taimien alkukehitys muokaus- ja lannoituskokeilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 51. 11 s.
- Söderström, V. 1974. Markberedningen. Summary: Soil treatment. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 72(1):157-166.
- 1977. Markberedningens inverkan på markgenskaperna. Sveriges Skogsvårdsförbunds. Tidskrift 75(2-3):225-232.
- Tikkanen E. 1983. Monimuotoinen metsäekosysteemi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 129:44-50.
- Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990. Climatological statistics in Finland 1961-1990. Helsinki 1991. 125 s.
- Turtiainen, M. & Valtanen, J. 1970. Metsäaurauksen vaikutus maan lämpötilaan. Mettä ja Puu 1970(12):10-13.
- Veltheim, V. 1969. On the pre-Quaternary geology of the Bothnian Bay area in the Baltic Sea. Bulletin de la Commission Geologique de Finlande 239. 56 s.
- Vesirakennus. RIL 92. Helsinki 1973. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. 434 s.
- Ylimannila, S. 1970. Oulujoen alajuoksun kehityksestä. Pro gradu -työ. Oulun yliopisto, maantieteen laitos. 118 s.

Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja -sarjassa julkaistu seuraavat tiedonannot:

- Nro 1. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1971.
- Nro 2. Tutkimuspäivän alustukset 1972.
- Nro 3. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1972.
- Nro 4. Kalevi Karsisto. Esituloksia suometsien fosforilannoitelajikokeista. 1973.
- Nro 5. Kalevi Karsisto. Lannoitteiden levitystasaisuudesta moottorikelkkaa käytettäessä. 1973.
- Nro 6. Kalevi Karsisto. Kokeita typpilannoitteiden häviämisestä säikeistä. 1973.
- Nro 7. Kalevi Karsisto. Isorakeisen typpilannoitteen uppoamisesta lumeen. 1975.
- Nro 8. Markku Turtiainen ja Jukka Valtanen. Metsänviljelytutkimuksen välituloksia Pohjanmaan ja Kainuun metsäaurausalueilta. 1974.
- Nro 9. Jukka Valtanen. Avoalan suuruuden vaikutus männynviljelyn tulokseen Pohjois-Suomessa. 1974.
- Nro 10. Esteri Ohenoja ja Niilo Takkunen. Alustavia tietoja lannoituksen vaikutuksesta kangasmetsien sienisatoon. 1974.
- Nro 11. Kalevi Karsisto ja Jorma Issakainen. Riistan tuottaminen metsänparannusalueilla. 1974.
- Nro 12. Kalevi Karsisto. Peatland forestry experiments in Pyhäkoski experimental area. 1974.
- Nro 13. Kalevi Karsisto. Ojituksen ja metsänlannoituksen vaikutus vesien saastumiseen. 1974.
- Nro 14. Tutkimuspäivän esitykset 1975.
- Nro 15. Metsäntutkimuspäivä Haapavedellä 1976.
- Nro 16. Metsäntutkimuspäivä Sotkamossa ja Ämmänsaarella 1977.
- Nro 17. Metsäntutkimuspäivä Haukiputaalla ja Muhoksella 1978.
- Nro 18. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1980.
- Nro 19. Mikko Moilanen ja Matti Oikarinen. Perkausajankohdan vaikutuksesta hieskoivun ja haavan vesomiseen kangasmaalla. 1980.
- Nro 20. Tuhka metsänlannoitteena. Toimittaneet Pekka Pietiläinen ja Markku Tervonen. 1980.
- Nro 21. Metsäntutkimuspäivä Muhoksella 1980.

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjassa julkaistu seuraavat tiedonannot (Muhoksen tutkimusasema):

- Nro 3. Jussi Saramäki. Hieskoivun kasvu ja kasvatus Pohjanmaalla ja Kainuussa. 1981.
- Nro 17. Jorma Issakainen ja Mikko Moilanen. Lentolannoituksen levitystasaisuudesta ja työjäljen valvontamenetelmän kehittamisestä. 1981.
- Nro 24. Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1981.
- Nro 29. Mikko Moilanen ja Kalevi Karsisto. Lannoitteen levitystasaisuuden vaikutuksesta nuoren suomännikön pituuskasvuun. 1981.
- Nro 70. Metsäntutkimuspäivä Oulaisissa 1982.
- Nro 101. Jarmo Poikolainen ja Eero Kubin. Tuloksia kapealatvaisen kuusen juurruttamisesta. 1983.
- Nro 119. Metsäntutkimuspäivä Suomussalmella ja Sotkamossa 1983.
- Nro 133. Mikko Moilanen ja Jorma Issakainen. Ojituksen, lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksesta luontaiseen uudistumiseen piensararämeellä. 1984.
- Nro 158. Metsäntutkimuspäivä Oulussa 1984.
- Nro 198. Eero Kubin ja Hannu Raitio. Puustovauriot keväällä 1985 Suomessa. Metsämattimiehille osoitetun kyselyn tulokset.
- Nro 199. Mikko Moilanen. Runkokäyrämallien tarkkuus lannoitetussa rämemännikössä. 1985.
- Nro 204. Mikko Moilanen ja Jorma Issakainen. Lannoitusvaikutuksen riippuvuus levityssajankohdasta nuorissa rämemänniköissä. 1985.
- Nro 206. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1985. Kannuksen ja Muhoksen tutkimusasemien yhteinen julkaisu.
- Nro 222. Matti Oikarinen ja Yrjö Norokorpi. Vuosina 1956-65 viljeltyjen männyn- taimikoiden tila valtion mailla Pohjois-Suomessa. 1986.
- Nro 255. Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1986.
- Nro 281. Mikko Moilanen, Ari Ferm ja Jorma Issakainen. Kasvihuonekokeita erilaisen jätteiden vaikutuksesta hieskoivun alkukehitykseen turvealustalla. 1987.
- Nro 290. Pentti Niemistö. KTP-84 tiedonkeruupäätte metsässä kerättävän tiedon talennusvälineenä. 1988.
- Nro 295. Metsäntutkimuspäivä Kärsämäellä 1987. 1988.
- Nro 299. Eero Kubin ja Jarmo Poikolainen (toim.). Ekologisten ja ekofysiologisten tutkimusten painopistealueet ja mittausvälineiden tarve metsänhoidon tutkimusosastolla. 1988.
- Nro 327. Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1988. 1989.
- Nro 361. Metsäntutkimuspäivät Oulussa 1989. 1990.
- Nro 381. Jukka Valtanen. Peltojen metsityksen onnistuminen Pohjois-Pohjanmaalla 1970-luvulla. 1991.
- Nro 387. Metsäntutkimuspäivät Haapajärvellä 1990. 1991.
- Nro 388. Jukka Valtanen ja Aarne Lehtosaari. Männyn uudistumiseen vaikuttavat tekijät Siikalatvan alueella. 1991.
- Nro 389. Matti Oikarinen. Suomussalmen männynviljelyinventointi. 1991.
- Nro 419. Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1991. 1992.
- Nro 432. Pentti Niemistö. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. 1992.
- Nro 461. Eero Kubin. Metsäekologisen havaintoverkoston kehittäminen. 1993.
- Nro 464. Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. 1993.
- Nro 499. Jorma Issakainen, Mikko Moilanen & Klaus Silfverberg. Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla rämeillä. 1994.
- Nro 503. Jukka Valtanen. Männyn luontainen uudistaminen Keski-Pohjanmaalla. 1994.
- Nro 508. Metsäntutkimuspäivä Muhoksella 1993. 1994.
- Nro 520. Riikka Repo ja Jukka Valtanen. Maan ominaisuudet metsänviljelyssä - mätästyksen perusteet. 1994.