

# Maan vesitalous ja ilmatila metsäaurausalueilla

Hannu Mannerkoski & Veikko Möttönen

*SUMMARY: SOIL WATER CONDITIONS AND AIR-FILLED POROSITY ON PLOUGHED REFORESTATION AREAS*

Mannerkoski, H. & Möttönen, V. 1990. Maan vesitalous ja ilmatila metsäaurausalueilla. Summary: Soil water conditions and air-filled porosity on ploughed reforestation areas. *Silva Fennica* 24(3):279–301.

Kokeeseen valittiin Pohjois-Karjalasta viisi aurausaluetta, joilla mittauksia tehtiin kesällä 1987 kivennäismaalta, soistuneelta kivennäismaalta ja turvemaalta 10 cm:n syvyydestä. Tensiometreillä mitattiin päivittäin maaveden matrikpotentiaalia ja kahtena eri ajankohtana otettiin vesipitoisuusnäytteet palteesta ja koskemattomasta maasta kolmelta eri etäisyydeltä vaosta. Soistuneilla kankailla ja turvemailla seurattiin lisäksi pohjavedenpinnan vaihtelua. Kesä 1987 oli selvästi keskimääräistä sateisempi.

Maaveden matrikpotentiaali oli keskimäärin pienin aurauspalteessa. Palteessa se myös laski poutajaksoina ja nousi sadejaksoina nopeammin ja enemmän kuin käsittelemättömässä maassa. Palteen vaikutus oli pienin turvemaalla. Palteet eivät kuivuneet liikaa taimien kannalta ainakaan märkänä vuonna. Heikosti kuivuneen turvemaan ja soistuneen kankaan käsittelemätön pintamaa oli usein ja pitkiäkin aikoja niin märkää, että juurten kasvun edellyttämää vedestä vapaata 10 %:n minimi-ilmatilaa ei esiintynyt. Auras ei siis ainakaan yksinään riitä kuivattamaan soistuneita maita riittävästi, jotta taimien juurille olisi aina edellytykset kasvaa palteiden ulkopuolelle 10 cm:n syvyydessä.

---

Five ploughed research areas from Finnish Northern Karelia were selected for comparison studies of plough ridges and untouched soil. Measurements were made at a depth of 10 cm in sample plots on both mineral and paludified mineral soil and peatland parts of these areas. In summer 1987 daily soil water matric potential was measured using tensiometers, and volumetric soil moisture content and density were determined from soil samples at two dates during the summer. Water characteristics of the core samples were also determined. On paludified mineral and peat soils the water table depth from the soil surface was measured.

The results indicated that in plough ridges matric potential was lowest. Plough ridges were also seen to dry and wet faster and to a greater degree than untouched soils. In untouched soils, soil water relations and aeration were not affected by the distance to the furrow. The effect of the plough ridge was smallest on peatland, where there was a good capillary connection from plough ridge to the ground water, if the ditches were not very effective. The soil in the ridges did not dry too much to restrict seedling growth. The untouched surface soil in poorly drained peat and paludified mineral soil was, at least in a rainy growing season, often and also for long times so wet that the 10 % minimum air space required for good seedling root growth was not available.

Keywords: soil moisture, water potential, soil aeration, ground water table, forest ploughing.

ODC 116 + 181.3

Authors' address: Faculty of Forestry, University of Joensuu, P.O.Box 111, SF-80101 Joensuu, Finland.

Accepted September 20, 1990

## 1. Johdanto

Metsämaan muokkaus eli maanpinnan koneellinen käsittely kuuluu nykyisin oleelliseen osana metsänuudistamiseen. Muokkauksen tavoitteena on toisaalta helpottaa metsänviljelyn teknistä toteutusta ja toisaalta muuttaa kasvuolosuhteita puiden taimille suotuisammiksi. Erityisesti metsäaurauksella aikaansaaduilla ympäröivää maanpintaa korkeammalla olevilla palteilla on pyritty luomaan taimille istutuskohtia, joissa eri kasvutekijöiden väliset suhteet olisivat koskematonta maata paremmat (vrt. Karjula ym. 1982, Bäcke ym. 1986). Muokkauksella onkin lähes poikkeuksetta todettu olevan uudistusalueen taimettumista parantava ja taimien alkukehitystä nopeuttava vaikutus (esim. Pohtila 1977, Mälkönen 1983). Muokkaustulos riippuu kuitenkin käytetyn menetelmän laadusta ja muokkausalueen ominaisuuksista. Vesitaloudeltaan ongelmallisille istutusalueille suositellaan voimaperäisiä muokkausmenetelmiä, kuten aurausta tai mätästystä, jotka torjuvat tehokkaasti myös pintakasvillisuuden kilpailua (Kaila ja Päivänen 1978). Helposti viljeltäville kohteille ja luontaisen uudistamisen alueille suositellaan kevyempiä menetelmiä, kuten maanpinnan rikkomista laikuttamalla tai äestämällä.

Maan fysikaalisten ominaisuuksien muuttaminen maanmuokkauksella puiden taimien kasvulle suotuisammiksi perustuu muokkauksen aiheuttamiin muutoksiin maan huokostilassa ja rakenteessa sekä muokkausjäljen mahdollisiin vedenjohtamisominaisuuksiin. Maan huokostilan täyttää ilma ja vesi, joiden keskinäinen suhde on yleensä jatkuvassa muutostilassa maan kostuessa sateiden vaikutuksesta sekä kuivussa haihdunnan ja valunnan seurauksena.

Maan ilman koostumuksen säilyminen elintoiminnoille sopivana juurten hengityksen ja mikrobitoiminnan kuluttaessa happea sekä luovuttaessa hiilidioksidia edellyttää riittävää ilman vaihtumista (Kozłowski 1986). Ilmanvaihto voi tapahtua ilman massavirtauksena tai ilman osakaasujen diffuusion kautta. Diffuusionopeus voi kosteassa maassa hidastua jopa 1/20000 osaan siitä mitä se on ilmassa (Glinski ja Stepniewski 1985). Diffuusio siis edellyttää riittävää il-

matilaa ja jatkuvia huokosia. Ilmatilan vähimmäisvaatimuksena pidetään yleensä 10 %:a (Glinski ja Stepniewski 1985). Tätä pienemmässä ilmatilassa uusien juurten kehitys pysähtyy ja vanhat juuret alkavat kuolla. Eri puulajien kyvyssä sietää happivajausta on eroja. Suomalaisista puulajeista hieskoivu on kestävin (Huikari 1959). Myös rauduskoivu sietänee happivajausta paremmin kuin havupuut, joista mänty on kuusta kestävämpi (Pelkonen 1979). Puiden taimien juuristo kehittyy parhaiten, kun ilmatilan osuus on 25–30 % maan tilavuudesta (Lähde ym. 1981).

Useimpien metsäpuiden juuriston kehitys on todettu hiekkamailla parhaimmaksi kenttäkapasiteettikosteudessa eli maaveden potentiaaliln ollessa noin -10 kPa (Söderström 1976). Hienojakoisemilla mailla potentiaalioptimi on -20 – -25 kPa, koska kenttäkapasiteetissa maan ilmatilan pienuus rajoittaa kasvua.

Maan puutteellisen ilmanvaihdon on todettu voivan olla puiden taimien kasvua rajoittava tekijä Lapin humidisessa ilmastossa metsänuudistusalueilla, joiden maa on hienojakoista ja tiivistä. Tällaisen maan vedenläpäisevyys on huono, joten sade- ja sulantavedet voivat kertyä maan pinnalle (Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981). Myös korkealla oleva pohjavedenpinta vähentää ilmatilaa pinta- maassa. Hakkuun jälkeen pohjavedenpinta yleensä vielä nousee. Nousun on havaittu olevan kangasmaalla 0,5 m:stä jopa 1,4 m:iin (Lundin 1979) ja turvemaalla 5–20 cm (Päivänen 1982). Maanpinnan käsittely vielä korostaa pohjavedenpinnan nousua pintakasvillisuuden transpiraation vähetessä. Kuivina kausina pohjavedenpinnan syvyyden eroksi käsitellyn ja käsittelemättömän maan välillä on havaittu 10–20 cm (esim. Burger ja Pritchett 1988). Ilmanvaihdon heikkenemisen ohella kosteuden lisääntyminen alentaa maan lämpötilaa, mikä myös voi heikentää taimien kasvua (Lähde ym. 1981).

Tutkittaessa maanmuokkauksen ja erityisesti aurauksen vaikutuksia maan vesitalouteen on palteen tai mättään todettu olevan pintaosistaan muita käsittelyjälkiä kuivempia sekä sade- että poutakausina niin Lapin (Kauppila ja Lähde 1975, Mutka ja Lähde

1977, Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981) kuin Iso-Britannian olosuhteissa (Read ym. 1973). Palteiden on todettu voivan pitkinä poutakausina kuivua pintaosistaan lakastumisrajaa kuivemmiksi (Söderström 1975, Mälkönen 1976, Lähde 1978, Söderström ym. 1978). Aurauksen pientareessa sekä laikuissa ja käsittelemättömässä maassa vesitila ei yleensä laskenut alle 10 %:n, ja ilmatilan todettiin niissä olevan ajoittain pieni vaihdellen yleensä 10–40 %:n välillä (Mutka ja Lähde 1977, Lähde 1978). Maan vedenläpäisevyys paranee humuksen ja kivennäismaan sekoittuessa tai maan liikkuttelun muuttaessa sen rakennetta esimerkiksi aurauksen palteessa tai mättäissä (esim. Kauppila ja Lähde 1975, Ritari ja Lähde 1978, Ross ja Malcolm 1982).

Metsäaurauksen vaikutusta pohjavedenpinnan syvyyteen on tutkittu vain vähän. Ross ja Malcolm (1982) totesivat pohjavedenpinnan olevan kangasmaalla auran käsittelyjäljessä ja sen vieressä koskemattomalla alueella syvemmällä kuin vertailukoalueella. Varfolomejevin ja Shaminin (1980) mukaan pohjavedenpinnan syvyyden ajallisen kehityksen kuvaajat olivat lähes samanlaiset auratulla ja käsittelemättömällä ojitetulla turvemaalla.

Varsinaisilla ojitusalueilla pohjavedenpinnan käyttäytymistä on tutkittu enemmän. Hienojakoisella kivennäismaalla pohjavedenpinnan syvyys on lähes yhtä suuri ojan vieressä kuin yli 7 m:n etäisyydellä ojasta sekä sade- että kuivana kautena (Schulin ja Richard 1984). Turvemailla keskimääräinen pohjavedenpinnan syvyys korreloi hyvin sademäärän ohella ojasyvyyden ja ojasta mitatun etäisyyden logaritmin kanssa (esim. Braecke 1983).

Metsäaurauksen vesitalousvaikutuksia tutkittaessa on yleensä keskitytty muokkausjäl-

jessä eli puiden taimille suositellussa viljelykohdassa vallitsevien olosuhteiden tutkimiseen. Muokkausjälkien väliin jäävän koskemattoman maan vesitaloudella ja sitä kautta ilmanvaihdolla voidaan kuitenkin olettaa olevan huomattava vaikutus puiden taimien kasvuun niiden varttuessa ja juuriston levittäytyessä muokkausjäljestä ympäröivään maahan.

Osana laajempaa tutkimusta erilaisten metsämaan muokkausmenetelmien (auraus, mätästys, lautasauraus) vaikutuksesta maan vesitalouteen ja ilmanvaihtoon on tässä yhteydessä tarkoituksena selvittää, miten palleauraus on vaikuttanut maan vesitalouteen soistumisasteeltaan ja maaperältään erilaisilla metsänuudistusalueilla. Ensisijaisesti tutkitaan pintamaan kosteutta ja sen vaikutusta ilmanvaihto-olosuhteisiin aurauksivakojen välisellä alueella. Tavoitteena on selvittää maan kosteutta ja sen vaihteluja eri etäisyyksillä muokkausvaosta ja eroavatko palteen olosuhteet koskemattomasta maasta sekä mitkä tekijät aiheuttavat mahdolliset erot. Pintamaan kosteutta seurataan mittamalla maaveden potentiaalia ja ottamalla lisäksi kertanäytteitä. Pintamaan kosteuteen vaikuttavista tekijöistä mitataan sademäärää ja pohjavedenpinnan syvyyttä.

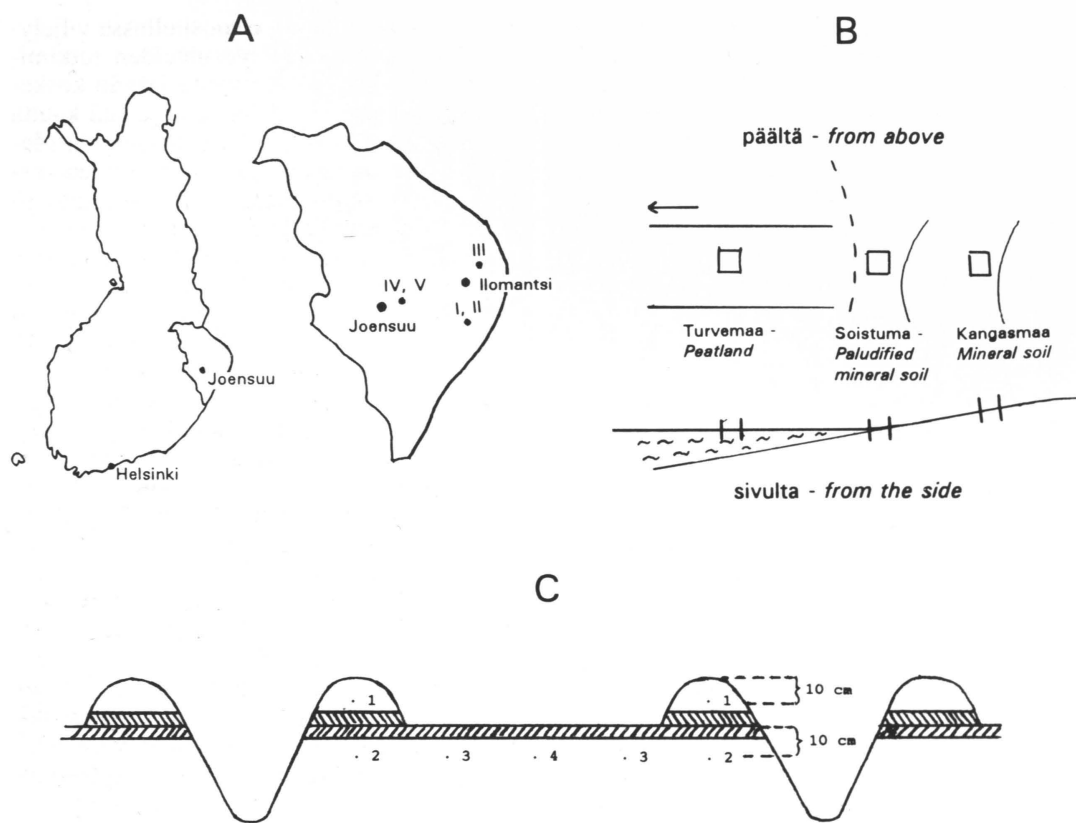
Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö on vuosina 1987–89 rahoittanut tutkimushankkeen "Maanpinnan käsittelyn vaikutus maan ilmanvaihtoon". Sen yhteydessä Veikko Möttönen laati aurauksialueilta vuonna 1987 kerätystä aineistosta Hannu Mannerkosken ohjaamana syventävien opintojen tutkielman, josta Hannu Mannerkoski on muokannut Veikko Möttösen avustamana tämän tutkimuksen. Parhaat kiitokset rahoittajalle ja tutkimuskohteiden maanomistajalle Enso-Gutzeit Oy:lle.

## 2. Tutkimusaineisto ja sen käsittely

### 2.1. Koealueet

Tutkimuksen kohteiksi valittiin uudistusaloja, joilla samaa maanmuokkausmenetelmää oli käytetty loivasti kaltevilla rinteillä kan-

gasmaalta kapeahkon soistuneen kankaan vyöhykkeen kautta turvemaalle asti. Kutakin muokkausmenetelmää edustamaan etsittiin viisi nämä vaatimukset mahdollisimman hyvin täyttävää aluetta. Aurauksialueet ovat kan-



Kuva 1. Koalueiden sijainti Pohjois-Karjalassa (A), koalojen sijainti koalueella (B) ja mittauspisteiden sijainti aurasjäljen poikkileikkauksessa (C) (1 = palle, 2 = palteen alus, 3 = palteen vierus, 4 = vakojen puoliväli).  
 Fig. 1. Location of the research areas in Northern Karelia, Finland (A), that of sample plots in study areas (B), and measuring points in the cross-sectional area of the ploughed soil (C) (1 = plough ridge, 2 = under the plough ridge, 3 = beside the plough ridge, 4 = mid-way between the furrows).

gasmaalla mustikkatyypin kasvupaikkoja, mikä todettiin pintakasvillisuuden ja ympäröivän metsän perusteella. Myös turvemaalla kasvupaikkatyyppi oli mustikkatyypin ravinteisuustasoa vastaavaa. Aikaisemmin suoritettujen ojitusten vuoksi ne olivat yleensä mustikkakorpiuuttumia.

Nyt käsiteltävät aurasalueet sijaitsivat kaikki Enso Gutzeit Oy:n mailla, kaksi Kontiolahden Jukajoella (62° 36' N, 30° 03' E), kaksi Ilomantsin Riihivaarassa (62° 29' N, 30° 57' E) ja yksi Ilomantsin Iljanvaarassa (62° 46' N, 31° 10' E) (kuva 1, A). Muokausvuosi oli Jukajoella 1983, Riihivaarassa 1984 ja Iljanvaarassa 1986. Alueet oli viljelty muokkausta seuraavana vuonna. Riihivaarassa oli valittu puulajiksi kuusi, muualla mänty.

Jokaiselle koalueelle rajattiin keväällä 1987 koalat kangasmaalle, soistumalle ja turvemaalle (kuva 1, B). Koalat valittiin siten, että muokkausjälki oli niillä hyvä. Kangasmaan koalat valittiin koalueiden korkeimmilta kohdilta, joissa ei suokasvillisuutta esiintynyt. Soistuman koalat valittiin paikoilta, joissa suokasvillisuuden, lähinnä rahkasammalten, peittävyys oli huomattava ja joihin oli muodostunut 5–10 cm:n turvekerros. Turvemaan koalat valittiin kohdilta, joissa auran muokkausjälki ei ulottunut kivennäismaahan asti. Riihivaaran alueella koalat olivat niskaojan ja suon reunan välissä ja lisäksi ojien kuivatusteho oli heikko.

Mittauksia tehtiin kahden muokkausvaon väliin vakoja vasten kohtisuoraan asetetuilta linjoilta seitsemästä eri pisteestä (kuva 1, C).

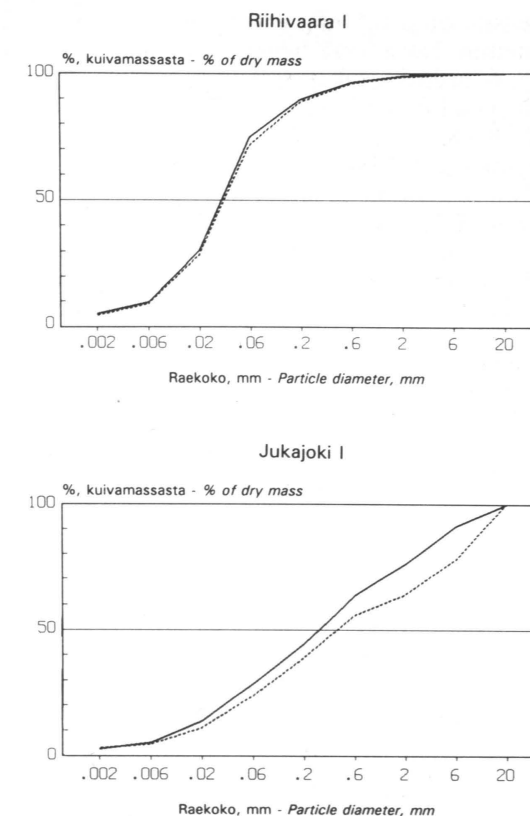
Mittauspisteen 3 paikka sijoittui mittauspisteiden 2 ja 4 puoliväliin. Mittausvyvyys oli 10 cm maanpinnasta (humuskerroksen pinnasta) ja palteen alla se mitattiin palteen viereisen alkuperäisen maanpinnan tasosta. Pohjavedenpinnan syvyyttä mitattiin soistumalla ja turvemaalla kahden metrin etäisyydeltä molemmin puolin edellä kuvattua mittauslinjaa. Mittauspaikat olivat molempien muokkausvakojen pohjalla ja vakojen puolivälissä. Mittauspisteiden ja pohjavesikaivojen keskinäisten korkeussuhteiden sekä maanpinnan kaltevuuden selvittämiseksi alueet vaaittiin. Yleensä kaltevuus vaihteli välillä 0–3 %.

Kivennäismaan lajitekoostumus määritettiin mekaanisella maa-analyysillä pipettimetelmää käyttäen (Elonen 1971). Maalajiksi todettiin Jukajoen koalueilla hiekkamoreeni ja Riihivaaran sekä Iljanvaaran koalueilla hieno hietä (kuva 2). Kangasmaan ja soistuman koalojen välillä ei maan lajitekoostumuksessa ollut merkittäviä eroja. Turvemaakoaloilla turve oli yleensä vähintään kohtalaisesti maaton sisältäen vaihtelevasti sekä sara-, rahkasammal- että puujäänteitä.

## 22. Mittaukset ja aineiston käsittely

Kesä 1987 oli keskimääräistä sateisempi. Mittausajanjakson keskimääräinen sademäärä oli 111 mm/kk, kun alueen pitkän aikavälin (1961–80) keskiarvo vastaavana vuodenaikana on 69 mm/kk (Suomen... 1983). Koalueiden hajanaisen sijainnin vuoksi sademäärät ja sateiden ajoittuminen poikkesivat niillä jonkin verran toisistaan. Pisin sateeton ajanjakso oli 9 vuorokautta (16.–24.7.).

Maaveden potentiaalia mitattiin kaikista mittauspisteistä elohopeamanometrillä varustetuilla tensiometreillä, joiden rakenteen ja toiminnan ovat kuvanneet mm. Brühlhart (1969), Ahti (1971) ja Schuster (1974). Tensiometrit asetettiin mittauspisteisiin kairalla tehtyyn reikään. Kivennäismaassa olevan reiän pohja täytettiin 0,2 mm:n seulan läpäisevän maan vesilietoksella huokoisien kärjen ja maan hyvän kontaktin varmistamiseksi. Kangasmaalla asennussyvyys (10 cm) mitattiin humuskerroksen pinnasta, soistumalla ja turvemaalla turpeen ja elävän sammalkerroksen rajakohdasta. Palteen korkeus mitattiin vesivaa'an ja mitan avulla, jotta palteen alle tule-



Kuva 2. Kivennäismaan raekoostumus hietä- (esim. Riihivaara I) ja moreenimaalla (esim. Jukajoki I) sekä palteessa (---) että koskemattomassa maassa (—).  
 Fig. 2. Soil texture in research areas as examples of silty (Riihivaara I) and glacial till (Jukajoki I) soils both in the plough ridge (---) and in the untouched soil (—).

va tensiometri saatiin sijoitetuksi oikealle syvyydelle.

Tensiometrit luettiin noin klo 17 auringon säteilyvaikutuksen minimoimiseksi. Pitkäaikaisen sateen aikana ei tensiometrejä luettu, koska maahan imeytyvä vesi aiheuttaa satunnaista vaihtelua maaveden potentiaalissa. Tensiometrit luettiin Riihivaaran ja Iljanvaaran koalueilla kesällä 1987 päivittäin 7.7.–24.8. ja Jukajoen koalueilla 2–3 kertaa viikossa 22.6.–26.8.

Maan vesipitoisuus ja vedenpidätyskyky määritettiin tilavuusnäytteistä, joita otettiin kahteen 5 cm halkaisijaltaan ja korkeudeltaan olevaan lieriöön (tilavuus 98,2 cm<sup>3</sup>) aurasjäljen suunnassa molemmin puolin kutakin



tensiometriä 0,5 m:n etäisyydeltä. Näytteitä otettiin kaksi erää seuraavasti: Jukajoki I 26.6. ja 25.8., Jukajoki II 30.6. ja 26.8., Riihivaara I ja II 2.7. ja 24.8., Iljanvaara 3.7. ja 21.8. Kaikista näytteistä määritettiin ottoajankohdan vesipitoisuus tilavuudesta. Ensimmäisestä näyte-erästä määritettiin lisäksi vedenpidätyskyky eri potentiaalitasoilla: 0,3 kPa (etäisyys vesipintaan), 9,8 kPa, 98 kPa ja 310 kPa (painelevylaite) ja 1554 kPa (painealvolaite). Kolmessa suurimmassa paineessa käytettiin 1 cm:n korkuisia osanäytteitä. Vesipitoisuus kyllästyskosteudessa (0 kPa) määritettiin laskemalla maan huokostilavuus ( $V_f = V_t - V_s$ ) ottaen kuiva-aineen tilavuutta ( $V_s$ ) laskettaessa huomioon maanäytteistä määritetty orgaanisen aineksen osuus (o).

$$V_s = \frac{M_s}{\rho_s} = o \cdot \frac{M_s}{\rho_{so}} + (1 - o) \cdot \frac{M_s}{\rho_{sk}} \quad (2.1)$$

Kaavoissa  $V_t$  on maanäytteen kokonaistilavuus,  $M_s$  kuivamassa ja  $\rho_s$  kiintoaineksen tiheys. Kiintoaineksen tiheytenä käytettiin kivennäismaalle  $2,65 \text{ g/cm}^3$  ( $\rho_{sk}$ ) ja orgaaniselle aineelle  $1,4 \text{ g/cm}^3$  ( $\rho_{so}$ ).

Pohjavedenpinnan syvyyden mittaamiseksi kairattiin 5 cm:n läpimittaiset ja noin 120 cm:n syvyiset kaivot, joihin laitettiin rei'itetty muoviputki seinämien sortumisen estämiseksi. Vedenpinnan syvyys kaivoissa mitat-

tiin Mannerkosken (1983) kuvaamalla laitteella tensiometriä luvun yhteydessä. Vertailutasona oli alkuperäinen maanpinta.

Sademäärätietojen keräämiseksi Jukajoen ja Riihivaaran koalueille sijoitettiin sadepiirturit. Iljanvaaran koalueen sademäärätiedot saatiin noin 9 km länteen sijaitsevalta Mekrijärven tutkimusasemalta.

Maan vedenpidätyskyvyn, maaveden potentiaalilin ja maan vesipitoisuuden havaintoarvoina käytettiin koelakohtaisesti laskettu- ja kunkin neljän mittauspistetyypin mittaustasojen keskiarvoja.

Aineisto käsiteltiin SPSS-X-ohjelmistolla. Jakaumien normaalisuutta tutkittiin jakaumakäyrien avulla. Maaveden potentiaalivärit noudattivat normaalijakaumaa muissa mittauspisteissä paitsi palteissa, joissa pienten potentiaalivärien osuus oli suuri. Laskennassa käytettiin siten alkuperäisiä arvoja paineen yksiköiksi muunnettuna. Pääasiassa käytettiin yksisuuntaista ja kaksisuuntaista varianssianalyysiä. Keskiarvojen vertailussa käytettiin Scheffen testiä 5 %:n riskillä. Jos varianssianalyysin edellytykset eivät olleet voimassa, käytettiin Mann-Whitneyn U-testiä. Pohjavedenpinnan ja maaveden potentiaalilin välisen riippuvuuden testaamisessa käytettiin lineaarista korrelaatio- ja regressioanalyysiä.

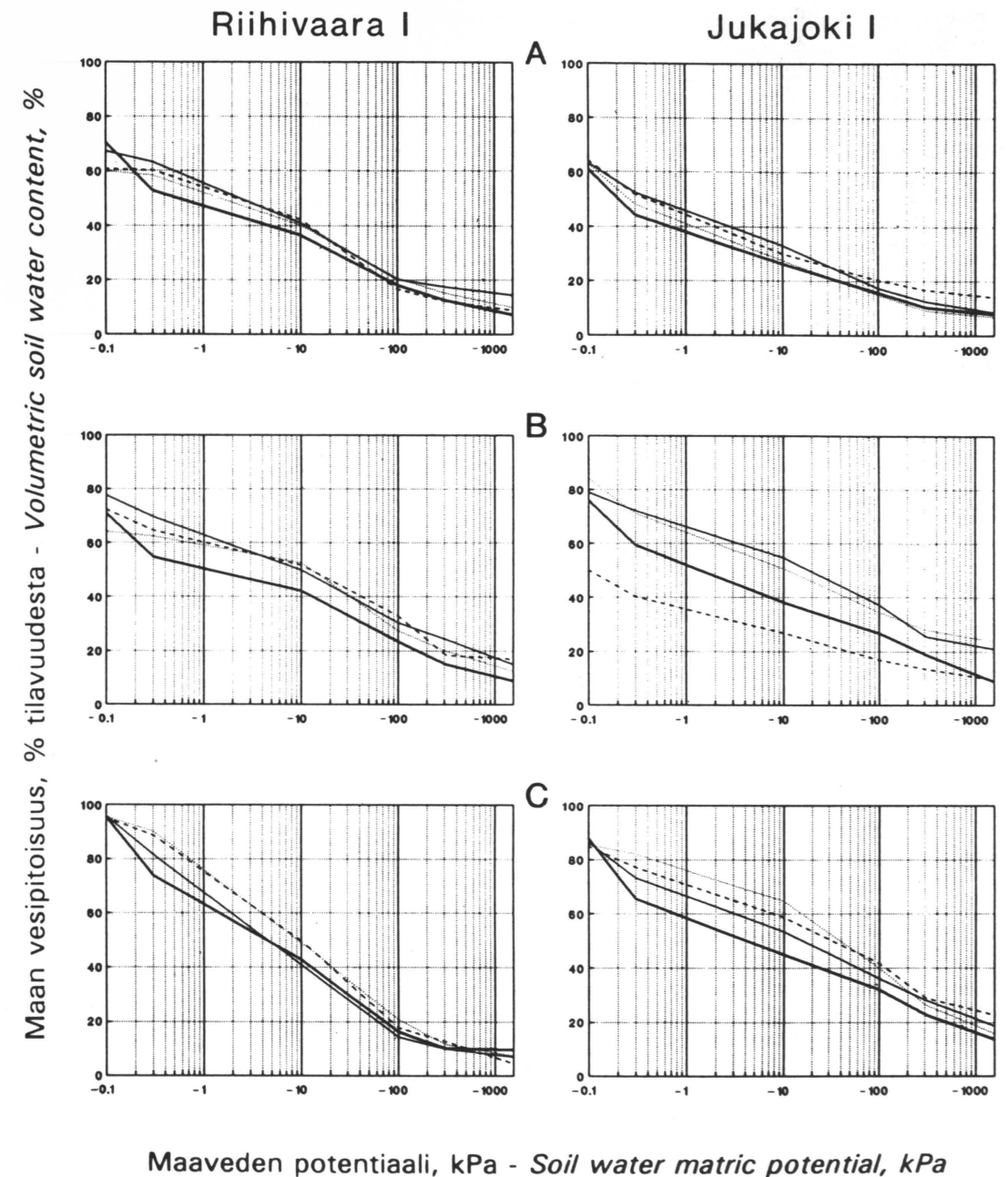
### 3. Tutkimuksen tulokset

#### 31. Maan vedenpidätysominaisuudet

Riihivaaran ja Iljanvaaran koalueiden kangasmaakoealoilla maa oli raekoostumukseltaan hyvin samanlaista hietamaata (kuva 2). Myös vedenpidätysominaisuudet olivat koskemattoman maan eri mittauspisteissä hyvin toistensa kaltaisia. Esimerkkinä esitetään Riihivaara I:n vedenpidätyskäyrä (kuva 3, A). Isoja suurhuokosia (läpimitta  $> 50 \mu\text{m}$ ;  $-6,2 \text{ kPa}$ ,  $\text{pF } 1,8$ ) oli sen mukaan vain vähän. Palteissa niitä oli selvästi enemmän, johtuen todennäköisesti maan liikuttelusta palteen kääntämisen yhteydessä. Jukajoen koalueilla kivennäismaan vedenpidätyskäyrien muo-

dot olivat moreenimaalle tyypillisesti tasaisesti laskevia (ks. kuva 3, A). Palteissa oli moreenimaallakin enemmän isoja suurhuokosia kuin koskemattomassa maassa.

Soistumakoealoilla maan vedenpidätyskyvyn hajonta eri mittauspisteiden välillä oli suuri orgaanisen aineen määrän vaihtelun vuoksi (kuva 3, B). Koskemattoman maan mittauspisteistä osa sijaitsi kivennäismaassa ja osa turpeen ja kivennäismaan rajakerroksessa. Koskemattomassa maassa orgaanisen aineen suuri osuus aikaansai soistumalla kangasmaata suuremman vedenpidätyskyvyn. Palteet olivat pääasiassa syvemältä kääntynyttä kivennäismaata, joten maan vedenpidä-



Kuva 3. Vedenpidätyskäyrät eri mittauspisteissä Riihivaaran I ja Jukajoen I koalueiden kangasmaa- (A), soistuma- (B) ja turvemaakoealoilla (C). Mittauspisteet: palte (—), palteen alus (---), palteen vierus (· · · · ·) ja vakojen puoliväli (— · — · —).

Fig. 3. Water characteristic curves for different measuring points in mineral soil (A), paludified mineral soil (B) and peatland (C) sample plots of the research areas Riihivaara I and Jukajoki I. Measuring points: plough ridge (—), under the plough ridge (---), beside the plough ridge (· · · · ·), mid-way between the furrows (— · — · —).



tyskyky oli tavallisesti pienempi kuin koskemattomassa maassa ja muistutti hyvin vastavan alueen kangasmaata.

Muokkaus on lisännyt myös turvemaalla isojen suurhuokosten osuutta palteessa verrattuna koskemattomaan maahan. Tämä näkyy vastaavasti pienten suurhuokosten (50–10 µm) vähenemisenä ja pienempänä vedenpidätyskykynä maaveden potentiaalın arvoilla -0,3 ja -9,8 kPa (ks. kuva 3, C; vastaavat pF-arvot 0,5 ja 2,0).

### 32. Maaveden potentiaali

#### 321. Maaveden potentiaalın taso ja ajallinen vaihtelu

Kangasmaakoealoilla maaveden potentiaalın vaihtelu oli suurinta palteessa (kuvat 4, A ja 5, A sekä taulukko 1). Siinä maaveden potentiaali laski sateettomina ajanjaksoina pienemmäksi, mutta kohosi runsaimpien sateiden kuluessa Iljanvaaran koalueella samalle tasolle ja Jukajoen sekä Riihivaaran koalueilla suuremmaksi kuin muissa mittauspisteissä. Sateiden jälkeinen maaveden potentiaalın lasku oli palteessa nopeinta kaikilla koalueilla. Alimmillaan maaveden potentiaali oli palteessa Jukajoen ja Riihivaaran koalueilla -55–-65 kPa ja Iljanvaaran koalueella noin -35 kPa. Suurimmillaan se kohosi kaikkien koalueiden palteissa välille 0–-1 kPa.

Kangasmaakoealojen koskemattomassa maassa maaveden potentiaalın vaihtelu oli yleensä pienintä palteen alla ja suurinta palteen vieressä. Eroja ilmeni vain sateiden aikana. Kuivina kausina koskemattoman maan eri mittauspisteiden väliset erot olivat vähäisiä eikä maaveden potentiaali laskenut juuri alle -10 kPa:n Jukajoen koaloja lukuunottamatta, joilla alimmat arvot olivat n. -20–-30 kPa. Kangasmaakoealoilla maan ilmatila ei laskenut 10 cm:n syvyydessä alle 10 %:n kuin lyhytaikaisesti sateiden aikana lukuunottamatta Iljanvaaran aluetta. Siellä se oli koskemattomassa maassa vakojen puolivälissä tätä raja-arvoa pienempi koko ajan ja palteiden allakin lähes puolet ajasta.

Soistumakoealoilla maaveden potentiaali käyttäytyi palteessa samoin kuin kangasmaakoealoilla (kuvat 4, B ja 5, B). Koskemattomassa maassa maaveden potentiaalın erot eri mittauspisteiden välillä olivat selvempiä kuin

kangasmaalla. Maaveden potentiaali laski sateiden jälkeen nopeimmin ja eniten palteen alla. Vakojen puolivälissä potentiaalın taso oli korkein eli maa oli kosteinta. Yleensä maaveden potentiaali oli soistumakoealojen koskemattomassa maassa vähän suurempi ja sen vaihteluväli pienempi kuin kangasmaakoealoilla (taulukko 1). Alle 10 %:n ilmatilan jaksot olivat vain vähän pidempiä kuin vastaavilla kangasmaakoealoilla.

Riihivaaran koalueiden turvemaakoealoilla pohjavedenpinta esiintyi huomattavan osan ajasta alle 10 cm:n etäisyydellä maanpinnasta (kuva 4, C). Palteiden korkeamman sijainnin vuoksi maaveden potentiaali pysyi niissä kuitenkin lähes koko ajan negatiivisena. Myös turvemaalla maaveden potentiaalın vaihtelu oli suurinta palteissa kaikilla koalueilla (kuvat 4, C ja 5, C sekä taulukko 1). Turvemaakoealoilla maaveden potentiaalın taso oli yleisesti kaikissa mittauspisteissä selvästi suurempi kuin kangasmaa- ja soistumakoealoilla, eikä se Jukajoen koalueita lukuunottamatta laskenut alle -10 kPa:n. Riihivaaran koalueilla, joissa vanhan ojituksen teho oli heikko, koskematon turve oli lähes koko ajan veden kyllästämää 10 cm:n syvyydessä ja usein aivan pintaan asti. Aurauksen palteessa toisella alueella minimi-ilmatila (10 %) ylittyi koko mittausajan, mutta toisella vain ajoittain. Iljanvaaran ja erityisesti Jukajoen turvemaakoealoilla kuivatustila oli hyvä ja näin myös koskemattomassa turpeessa minimi-ilmatila alittui vain ajoittain.

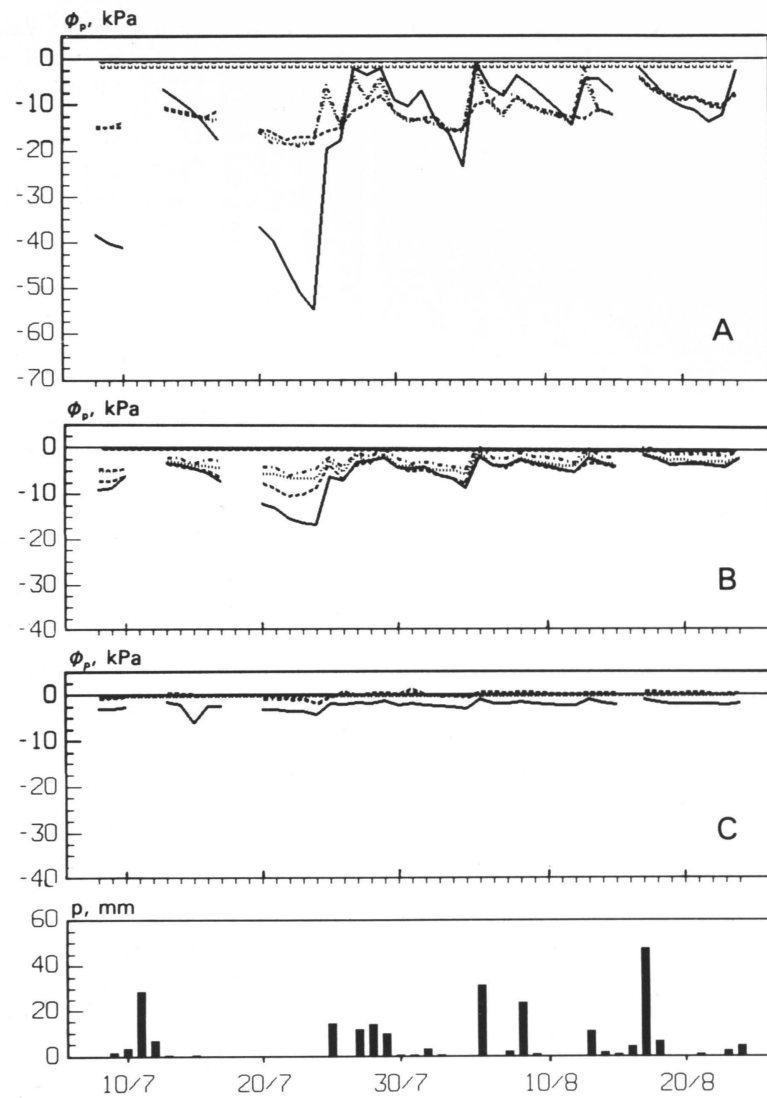
Taulukosta 1 voidaan edelleen todeta, että maaveden potentiaalın ero palteen ja koskemattoman maan välillä oli tilastollisesti merkitsevä kaikilla koaloilla. Suurimmat erot ilmenivät soistumalla. Koskemattoman maan mittauspisteiden väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Maaveden potentiaalın yleisiä tasoeroja kangasmaa-, soistuma- ja turvemaakoealojen ja eri mittauspisteiden välillä tutkittiin valitsemalla ajankohtia, joita edeltäneet ajanjaksot poikkesivat toisistaan selvästi sademäärän suhteen ja joilta oli käytettävissä mittaus tulokset kaikilta koalueilta (taulukko 2). Maaveden potentiaali oli eri koalueiden keskiarvona kaikkina ajankohtina alhaisin kangasmaalla ja korkein turvemaalla. Pidempien sadejaksojen jälkeen (13.7. ja 30.7.) erot kaikkien koalojen keskiarvojen välillä olivat tilastollisesti merkitsevät. Muina ajankohtina

Taulukko 1. Maaveden keskimääräinen potentiaali (kPa) eri mittauspisteissä 10 cm:n syvyydessä maanpinnasta vuoden 1987 mittausjakson aikana koalueittain. Suluissa hajonta. Koalueet: I = Riihivaara I, II = Riihivaara II, III = Iljanvaara, IV = Jukajoki I, V = Jukajoki II. Mittauspisteet: 1 = palte, 2 = palteen alus, 3 = palteen vierus, 4 = vakojen puoliväli.

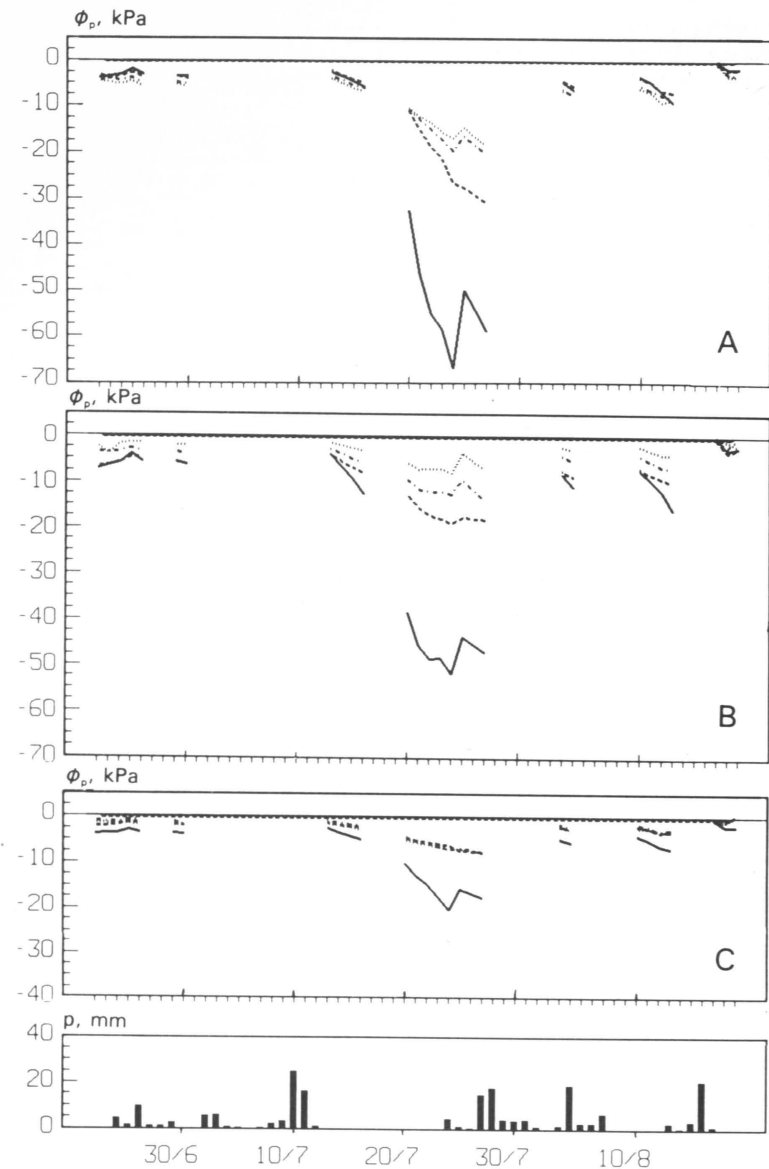
Table 1. Mean matrix potential (kPa) at a depth of 10 cm in the different measuring points of different sample plots taken during the measuring period 1987 at the different research areas: I = Riihivaara I, II = Riihivaara II, III = Iljanvaara, IV = Jukajoki I, V = Jukajoki II. For measuring points see Fig. 1. Standard deviation in parenthesis.

Koela – Sample plot	Mittauspiste – Measuring point	Koelue – Research area				
		I	II	III	IV	V
Kangasmaa – Mineral soil	1	-15,8 (14,4)	-12,4 (14,0)	-12,1 (8,7)	-16,4 (21,9)	-17,0 (19,1)
	2	-11,9 (3,0)	-6,6 (2,8)	-4,3 (2,1)	-8,4 (8,6)	-10,7 (5,3)
	3	-11,3 (4,3)	-6,5 (2,6)	-5,0 (2,3)	-7,8 (5,4)	-11,1 (8,0)
	4	-11,5 (3,9)	-6,3 (2,7)	-5,2 (2,3)	-7,9 (4,4)	-9,0 (6,5)
	F-arvo – F-value	3,2***	7,2***	23,3***	3,4***	2,7***
Soistuma – Paludified mineral soil	1	-5,3 (3,9)	-10,0 (11,1)	-14,6 (12,4)	-17,1 (17,3)	-21,4 (20,6)
	2	-4,6 (2,3)	-5,7 (5,6)	-3,4 (2,0)	-8,8 (5,2)	-8,0 (3,1)
	3	-2,4 (1,6)	-3,0 (1,6)	-3,9 (2,1)	-5,8 (3,7)	-6,9 (2,2)
	4	-3,5 (1,5)	-2,5 (1,3)	-3,4 (2,2)	-3,4 (2,1)	-6,5 (2,0)
	F-arvo – F-value	11,0***	13,2***	29,0***	12,4***	14,2***
Turvema – Peatland	1	-2,4 (0,9)	-0,9 (1,3)	-3,5 (2,4)	-6,8 (5,4)	-10,6 (14,3)
	2	-0,1 (0,5)	0,5 (1,0)	-1,8 (0,6)	-2,9 (2,0)	-2,7 (2,7)
	3	-0,3 (0,5)	0,2 (1,0)	-1,7 (0,5)	-2,7 (2,2)	-3,5 (3,7)
	4	0,2 (0,5)	0,7 (0,9)	-0,7 (0,5)	-3,1 (2,1)	-2,2 (2,0)
	F-arvo – F-value	144,7***	20,2***	31,8***	10,8***	8,4***



Kuva 4. Maaveden potentiaalin ( $\phi_p$ ) ja sademäärän ( $p$ ) päivittäiset arvot Riihivaaran I alueella. Potentiaaliarvot esitetään erikseen kangasmaa- (A), soistuma- (B) ja turvemaakoalojen (C) eri mittauspisteille (syvyys 10 cm): palle (—), palteen alus (---), palteen vierus (-·-·-) ja vakojen puoliväli (·····). Vaakasuorat viivat osoittavat 10 %:n ilmatilaa vastaavan potentiaalin.

Fig. 4. Daily values of soil water matric potential ( $\phi_p$ ) at different measuring points (depth 10 cm) in mineral soil (A), paludified mineral soil (B) and peatland (C) sample plots and precipitation ( $p$ ) in research area of Riihivaara I. Horizontal lines depict the value of matric potential corresponding to 10 % air space in the soil. Measuring points: plough ridge (—), under the plough ridge (---), beside the plough ridge (-·-·-), mid-way between the furrows (·····).



Kuva 5. Kuten kuva 4, mutta koealueelta Jukajoki I.  
Fig. 5. As Fig. 4, but for the Jukajoki I research area.

Taulukko 2. Maaveden potentiaali (kPa) keskimäärin koealoilla mittauspisteittäin sateen suhteen erilaisten kausien jälkeen (vrt. teksti). Mittauspisteet: ks. taulukko 1. (n = 5).

Table 2. Mean matrix potential (kPa) averaged over research areas in different sample plots and measuring points after various 5-day periods. For measuring points see Fig. 1.

Koeala – Sample plot	Mittauspiste – Measuring point	Ajankohta ja sademäärä mm/5 vrk – Date and precipitation mm/5 d					
		13/7	20/7	24/7	30/7	4/8	18/8
		43,2	0,0	0,0	36,6	5,5	41,8
Kangasmaa – Mineral soil	1	-3,9	-32,4	-54,7	-5,4	-14,3	-3,3
	2	-5,1	-11,1	-17,0	-6,1	-9,6	-3,4
	3	-5,4	-12,2	-18,7	-6,0	-10,2	-4,0
	4	-5,4	-11,5	-16,6	-6,0	-9,5	-3,7
	$\bar{x}$	-5,0	-16,8	-26,7	-5,9	-10,9	-3,6
Soistuma – Paludified mineral soil	1	-3,8	-28,0	-46,0	-3,6	-14,6	-3,5
	2	-3,0	-9,3	-14,1	-3,4	-7,4	-2,5
	3	-2,9	-6,8	-8,7	-2,7	-6,1	-2,3
	4	-2,6	-6,2	-7,9	-2,6	-4,6	-2,3
	$\bar{x}$	-3,1	-12,6	-19,2	-3,1	-8,2	-2,6
Turvemaa – Peatland	1	-1,5	-8,5	-17,7	-1,6	-3,5	-1,2
	2	-0,3	-2,4	-4,4	-0,5	-1,4	-0,2
	3	-0,4	-2,8	-5,6	-0,7	-1,5	-0,3
	4	-0,1	-1,9	-3,8	-0,2	-1,3	0,1
	$\bar{x}$	-0,6	-3,9	-7,9	-0,8	-1,9	-0,4
$F_{\text{mittauspiste (m)}}$ $F_{\text{measuring point (m)}}$		0,1	38,9***	35,4***	0,2	5,2***	0,7
$F_{\text{koeala (k)}}$ $F_{\text{sample plot (s)}}$		26,5***	35,6***	20,6***	26,2***	22,3***	22,5***
$F_{\text{yhdyksvaikutus (y)}}$ $F_{\text{interaction (i)}}$		0,7	3,8***	2,8**	0,3	0,8	0,5
$F_{\text{m/y}}$ $F_{\text{mi}}$			10,2***	12,7***			
$F_{\text{k/y}}$ $F_{\text{si}}$			9,3**	7,4**			

vain turvemaa poikkesi merkitsevästi muista. Eri mittauspisteiden väliset erot olivat tilastollisesti merkitseviä vain kuivimpina päivinä (20.7., 24.7. ja 4.8.), jolloin palle oli muita selvästi kuivempi. Turvemaaero oli muiden pienempi, mikä ilmenee merkitsevänä yhdysvaikutuksena (taulukko 2).

### 322. Maaveden potentiaalın nousu ja lasku

Maaveden potentiaalın kohoamisnopeus laskettiin maaveden potentiaalın sadejakson aikaisena muutoksena suhteessa sademäärään. Tarkastelusta rajattiin pois ne sadepäivät, joi-na sademäärä oli niin pieni tai sateesta kulu-nut aika niin suuri, että maaveden potentiaali oli pienentynyt eli maa kuivunut sateesta

Taulukko 3. Maaveden potentiaalın muutos (kPa/vrk) keskimäärin koealoilla mittauspisteittäin sateettomina ajanjaksoina sekä varianssianalyysin tulokset mittauspisteiden ja koealojen vaikutuksesta. Mittauspisteiden selitykset kuvassa 1.

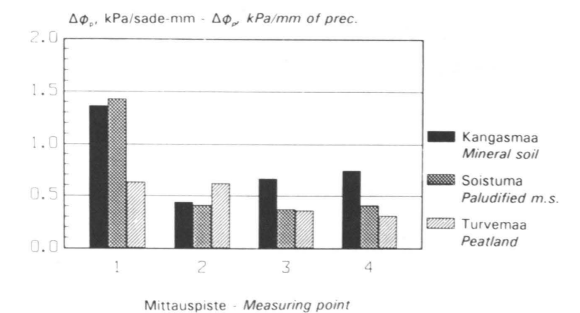
Table 3. Mean daily decrease of matrix potential (kPa/d) in nonrainy periods averaged over research areas in different sample plots and measuring points and the results of the two-way analysis of variance. For measuring points see Fig. 1.

Koeala – Sample plot	Mittauspiste – Measuring point				F-arvo – F-value
	1	2	3	4	
Kangasmaa – Mineral soil	-2,56	-0,85	-1,02	-0,91	23,38***
Soistuma – Paludified mineral soil	-2,80	-0,76	-0,77	-0,61	35,48***
Turvemaa – Peatland	-0,44	-0,25	-0,25	-0,19	5,77***
Vaihtelun lähde – Source of variation	Vapausasteet – Degrees of freedom	F-arvo – F-value	Riskitaso – Risk level		
Mittauspiste – Measuring point	3	60,76	< 0,001		
Koeala – Sample plot	2	62,98	< 0,001		
Yhdysvaikutus – Interaction	6	11,11	< 0,001		

huolimatta. Havaintoja kertyi mittauspistettä kohden kangasmailta yhteensä 31, soistumilta 34 ja turvemailta 37.

Kangasmaalla ja soistumalla sateen vaikutus maaveden potentiaalın kohoamiseen oli suurinta palteessa (kuva 6). Erot muihin mittauspisteisiin olivat merkitseviä. Turvemaa-lla maaveden potentiaali nousi palteessa selvästi vähemmän ja lisäksi yhtä nopeasti palteessa kuin palteen alla. Ero muihin mittauspisteisiin oli pieni (0,3 kPa/mm), mutta kuitenkin merkitsevä. Kangasmaalla taas potentiaali nousi palteiden välissä merkitsevästi nopeammin kuin palteen alla eli lähellä vakoa ja ero oli 0,3 kPa/mm.

Maan kuivumisnopeutta selvitettiin vertailemalla maaveden potentiaalın päivittäisiä muutoksia sateettomina ajanjaksoina. Kangasmaakoealoilla maaveden potentiaalın laskunopeus oli suurin palteessa (taulukko 3).



Kuva 6. Maaveden potentiaalın nousu ( $\Delta\phi_p$ ) sateen vaikutuksesta keskimäärin eri koealueiden koealoilla mittauspisteittäin (ks. kuva 1).

Fig. 6. Increase in matrix potential ( $\Delta\phi_p$ , kPa/mm of precipitation) after rains ( $\phi_p$  of a rainy day -  $\phi_p$  of preceding day)/mm of precipitation) as an average over research areas at different measuring points (see Fig. 1) on different sample plots.



Ero muiden mittauspisteiden arvoihin oli tilastollisesti merkitsevä. Koskemattomassa maassa ei ilmennyt merkitseviä eroja. Soistumakoealueilla vastaava ero palteen ja muiden mittauspisteiden välillä oli vielä suurempi. Myös turvemaalla maaveden potentiaalin laskunopeus oli suurin palteissa, vaikkakin paljon pienempi kuin muilla koealoilla, ja se erosi merkitsevästi vain vakojen puolivälissä sijainneista mittauspisteistä. Koskemattomassa maassa maaveden potentiaali laski soistumilla selvästi hitaammin kuin kangasmailla. Ero kasvoi etäisyyden muokkausvaosta kasvaessa. Potentiaalilasku oli kaikissa mittauspisteissä selvästi hitain turvemaalla.

### 33. Maan vesipitoisuus

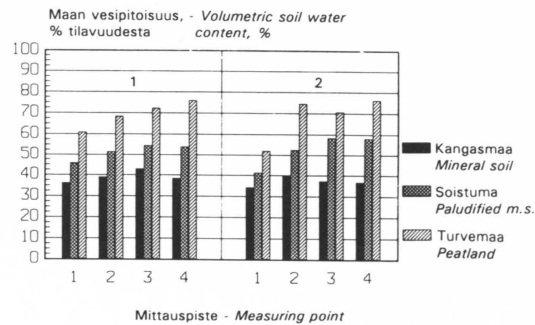
Maan vesipitoisuus määritettiin kahtena eri ajankohtana: kesä-heinäkuun vaihteessa sekä elokuun lopussa. Näytteenottopäivien keskimääräinen sademäärä oli molempina ajankohtina 1,8 mm. Viiden edeltävän vuorokauden sademäärä oli ensimmäisellä mittauskerralla 1,8 mm/vrk ja toisella mittauskerralla 2,1 mm/vrk.

Kangasmaalla maan vesipitoisuus ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi eri mittauspisteissä (kuva 7). Soistumalla ja turvemaalla vesipitoisuus oli palteissa merkitsevästi pienempi kuin muissa mittauspisteissä. Koskemattomassa maassa ei merkitseviä eroja esiintynyt. Kaikissa mittauspisteissä maan vesipitoisuus lisääntyi soistuneisuuden lisääntymisessä. Ero oli suurin koskemattomassa maassa vakojen puolivälissä ja pienin palteissa.

### 34. Pohjavedenpinnan syvyys

#### 341. Pohjavedenpinnan syvyyden vaihtelu

Pohjavedenpinnan syvyyden ajallinen kehitys Riihivaaran koealueiden soistumalla ja turvemaalla on esitetty kuvassa 8. Sateiden aiheuttama pohjavedenpinnan vaihtelu oli soistumalla suurempaa kuin turvemaalla. Sateisina kausina pohjavedenpinta kohosi vakojen puolivälissä lähemmäs maanpintaa kuin muokkausvakojen kohdalla. Ero oli suurin Riihivaaran II koealueella, jossa se oli suurimmillaan soistumalla noin 20 cm ja turve-



Kuva 7. Maan vesipitoisuus kертanäytteistä kahtena eri ajankohtana (1 = 26.6.-3.7. ja 2 = 21.-26.8.) keskimäärin eri koealueiden koealoilla mittauspisteittäin (ks. kuva 1).

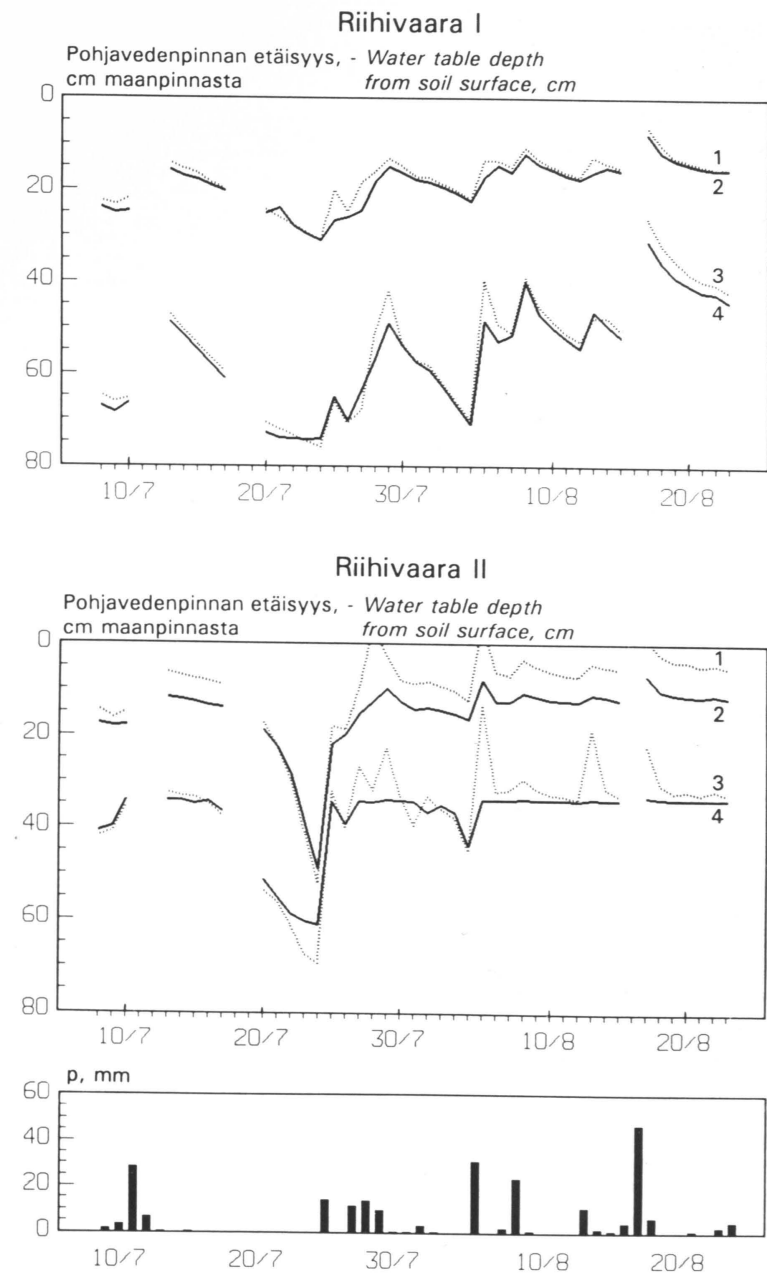
Fig. 7. Soil volumetric water content in soil cores at two sampling dates (1 = 26.6.-3.7. and 2 = 21.-26.8.) as an average over research areas at different measuring points (see Fig. 1) on different sample plots.

maalla noin 10 cm. Eron suuruus soistumakoealalla johtui siitä, että vedenpinta ei nousut muokkausvaon kohdalla sen pohjaa ylempäs, koska pääsi virtaamaan vakoja pitkin pois. Turvemaalla jatkui vedenpinnan kohoneminen myös muokkausvaoissa niiden huonon vedenjohtokyvyn vuoksi. Pisimmän kuivan jakson lopussa pohjavedenpinta oli soistumakoealoilla vakojen puolivälissä syvemmällä kuin muokkausvakojen kohdalla.

Pohjavedenpinnan keskimääräinen syvyys koko mittausjakson ajalta oli kaikissa mitatuissa tapauksissa soistumakoealoilla suurempi kuin turvemaalla ja muokkausvaon kohdalla suurempi kuin vakojen puolivälissä (taulukko 4). Koealojen sisäiset erot olivat kuitenkin pieniä (< 1-5 cm), eivätkä olleet tilastollisesti merkitseviä. Pohjavedenpinnan syvyydessä oli huomattavia eroja eri koealueiden välillä johtuen vanhan ojituksen kuivastehosta.

#### 342. Pohjavedenpinnan syvyyden ja maaveden potentiaalilinen välinen riippuvuus

Pohjavedenpinnan syvyyden ja maaveden potentiaalilinen välistä riippuvuutta tutkittiin laskemalla päivittäiset pohjavedenpinnan ja maaveden potentiaalilinen mittauspisteiden väliset syvyyserot eli hydraulisen korkeuden erot



Kuva 8. Pohjavedenpinnan vaihtelu sekä sademäärä Riihivaaran koealueiden (I, II) soistuma- (3, 4) ja turvemaakoealoilla (1, 2) vakojen kohdalla (2, 4) sekä vakojen puolivälissä (1, 3).

Fig. 8. Daily course of the water table depth from the soil surface and the precipitation (p) in the Riihivaara I and II research areas on sample plots in paludified mineral soil (curves 3 and 4) and peatland (1 and 2) at the bottom of the furrow (2 and 4) and mid-way between the furrows (1 and 3).

Taulukko 4. Pohjavedenpinnan keskimääräinen syvyys maanpinnasta (cm) muokkausvaossa (1) ja koskemattoman maan keskellä (2). Koalueet: ks. taulukko 1.

Table 4. Mean depth from the soil surface to the ground water table in ploughing furrows (1) and mid-way between the furrows (2) during the measuring period in 1987 in paludified mineral soil and peatland sample plots of different research areas (see Table 1).

Koala- Sample plot	Mittauspiste - Measuring point	Koalue - Research area					Keskim. - In average
		I	II	III	IV	V	
Soistuma - Paludified mineral soil	1	55,7	37,7	43,9	-	-	50,6
	2	54,1	36,1	43,0	-	-	49,3
Turvema - Peatland	1	18,8	15,3	40,4	91,3	55,6	32,2
	2	17,6	10,2	36,9	89,0	54,4	29,5

( $\Delta h$ , cm), jotka muutettiin maaveden potentiaalin yksiköiksi (kPa). Pohjavedenpinnan syvyys mittauspisteille 1-3 laskettiin vaon kohdalla ja vakojen puolivälissä mitatuista arvoista suoraviivaisella interpolaatiolla etäisyyden suhteen. Saatua tunnusta verrattiin vastaavan päivän mitattuun maaveden potentiaaliin.

Riihivaaran koalueiden soistumakoealoilla voitiin palteen maaveden potentiaalien ja pohjavedenpinnan välillä todeta vähäistä riippuvuutta ainoastaan pienimmillä pohjavedenpinnan syvyyksillä (kuva 9). Koskemattomassa maassa riippuvuus oli sitä suurempi, mitä kauempana mittauspiste oli muokkausvaosta ja se oli myös suoraviivainen koko mitatulla pohjavedenpinnan syvyyden vaihtelualueella. Yksittäiset poikkeamat pisteparvesta olivat sateiden aiheuttamia pintamaan kos-

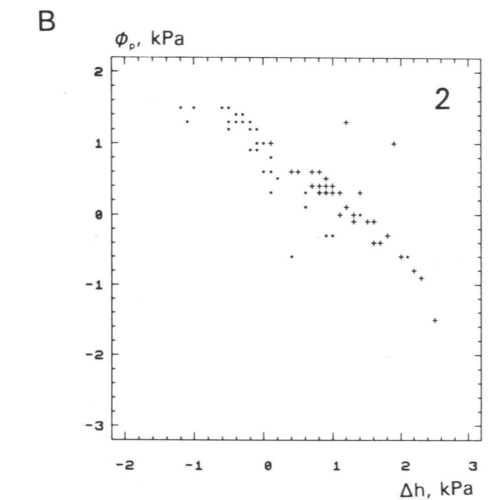
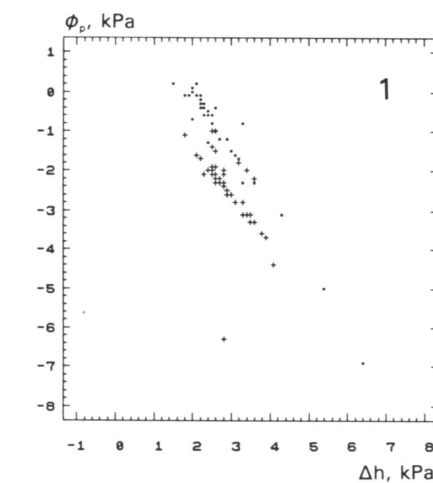
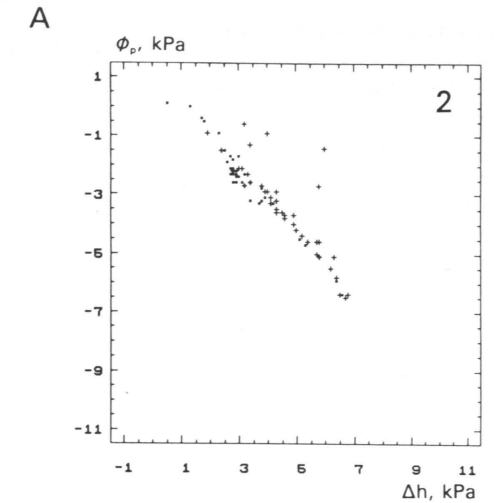
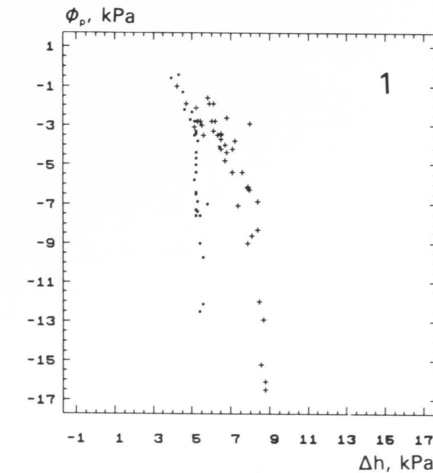
tumisia. Muuttujien väliset lineaariset regressioyhtälöt vastasivat soistumakoealoilla teoreettista tasapainotilaa ( $\phi_p = \Delta h$ ) parhaiten vakojen puolivälissä (taulukko 5). Palteen alla oleva humuskerros heikensi selvästi pohjaveden ja palteessa olevan maaveden kapillaarista yhteyttä, sillä maaveden potentiaalinarvot olivat palteessa huomattavasti tasapainotilaa pienempiä.

Turvemaalla suuri pohjavedenpinnan syvyys vähensi pohjavedenpinnan syvyyden ja maaveden potentiaalinvälisiä riippuvuutta Jukajoen koalueilla (kuva 9, taulukko 5). Riihivaaran molemmilla koalueilla riippuvuus oli kiinteä ja suoraviivainen kaikissa koskemattoman maan mittauspisteissä. Myös palteissa riippuvuus oli selvä osoittaen maavedellä olevan kiinteä kapillaarinen yhteys pohjaveden toisin kuin soistumakoealoilla.

#### 4. Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen kohteet pyrittiin valitsemaan niin, että ne kattaisivat suhteellisen hyvin metsämailla ja erityisesti metsänuudistusalueilla esiintyvän kasvupaikkojen vesitalousvaihtelun. Siksi kohteita valittiin kangasmaailta, soistuneilta kankailta ja turvemailta. Samalla tulivat mukaan myös maaperän eri pääluokat, kivennäismaat ja turvemaat.

Kivennäismailta valituista kohteista kahdessa maalaji oli hiekkamoreenia ja kolmessa hienoa hietaa. Jakauma ei vastaa maalajien keskimääräistä esiintymistä Suomessa, mutta antaa kuitenkin jossakin määrin mahdollisuuden verrata kyseisiä toisistaan selvästi poikkeavia maalajeja. Turvemaakohteita valittaessa kiinnitettiin huomiota turpeen paksu-



Kuva 9. Maaveden potentiaalinvälin ( $\phi_p$ ) suhde pohjavedenpinnan pystysuoraan etäisyyteen mittauspisteestä ( $\Delta h$ ) Riihivaaran I (+) ja II (●) koalueiden soistuma- (A) ja turvemaakoalueilla (B). Mittauspisteiden etäisyys pohjavedenpinnasta on ilmaistu tasapaino-olosuhteita vastaavana painekorkeutena (kPa). 1 = palte, 2 = vakojen puoliväli.

Fig. 9. Soil water matric potential ( $\phi_p$ ) for the measuring points in relation to their height above the water table indicated as an equilibrium pressure head ( $\Delta h$ , kPa) in the Riihivaara I (+) and II (●) research areas on sample plots of paludified mineral soil (A) and peatland (B). 1 = plough ridge, 2 = mid-way between the furrows.

teen, mutta ei vaotusta edeltäneeseen kuivatustilaan valintamahdollisuuksien vähyys vuoksi. Tämä näkyy hyvin selvästi pohjavedenpinnan syvyyteen ja maaveden potentiaalinvälissä liittyvissä tuloksissa.

Vaikeinta oli kuitenkin löytää sopivat kohteet soistuneilta kankailta, koska niitä edustavat suon ja kankaan vaihtumisvyöhykkeet

olivat yleensä hyvin kapeita ja niissä esiintyvän humuskerroksen tai ohuen turpeen paksuus vaihteli suhteellisesti ja pienialaisesti melko paljon. Tutkimussyvyys 10 cm maanpinnan alapuolella sattui usein juuri lähelle orgaanisen ja kivennäismaan rajaa ainakin koskemattomassa maassa. Näin on esimerkiksi vedenpidätyskäyriin saattanut tulla yli-

Taulukko 5. Maaveden potentiaalin ( $\phi_p$ , kPa) ja pohjavedenpinnan etäisyyden painekorkeutena ( $\Delta h$ , kPa) välistä riippuvuutta kuvaavat lineaariset regressioyhtälöt Riihivaaran (I ja II) sekä Jukajoen (IV ja V) koealueilla mittauspisteittäin. Koealueet ja mittauspisteet: ks. taulukko 1.

Table 5. The regression between soil water matric potential ( $\phi_p$ , kPa) and the depth from measuring points to the ground water table as an equilibrium pressure head ( $\Delta h$ , kPa) in different measuring points in paludified mineral soil and peatland sample plots in research areas I, II, IV and V. For measuring points see Fig. 1 and for research areas see Table 1.

Koeala - Sample plot	Koealue - Research area	Mittauspiste - Measuring point	$\phi_p =$	
Soistuma - Paludified mineral soil	I	1	12,75 - 2,65 $\Delta h$	
		2	1,16 - 1,65 $\Delta h$	
		3	1,55 - 1,14 $\Delta h$	
		4	1,27 - 1,03 $\Delta h$	
	II	1	47,89 - 10,47 $\Delta h$	
		2	8,19 - 4,39 $\Delta h$	
		3	0,67 - 1,28 $\Delta h$	
		4	1,01 - 1,09 $\Delta h$	
	Turvema - Peatland	I	1	0,92 - 1,15 $\Delta h$
			2	0,97 - 0,89 $\Delta h$
			3	0,96 - 0,85 $\Delta h$
			4	1,10 - 0,78 $\Delta h$
II		1	2,82 - 1,44 $\Delta h$	
		2	0,18 - 1,03 $\Delta h$	
		3	0,27 - 0,92 $\Delta h$	
		4	0,85 - 0,82 $\Delta h$	
IV		1	96,17 - 10,05 $\Delta h$	
		2	26,16 - 3,70 $\Delta h$	
		3	5,78 - 1,14 $\Delta h$	
		4	0,34 - 0,52 $\Delta h$	
V	1	61,25 - 11,40 $\Delta h$		
	2	6,54 - 2,24 $\Delta h$		
	3	9,85 - 3,15 $\Delta h$		
	4	5,48 - 1,86 $\Delta h$		

määräistä hajontaa ja käyrien määrittämisnäytteisissä ei välttämättä ole ollut samaa orgaanisen maan osuutta kuin tensiometrimittauskohteissa. Tämä näkyy soistuneilta mailta saatujen tulosten muita suurempana hajonta-

na. Suhteessa kivennäis- ja turvemaihin ne olivat kuitenkin tuloksiltaan hyvin loogisesti yleensä näiden välillä riippuen jonkin verran orgaanisen kerroksen paksuudesta ja pohjavedenpinnan syvyydestä.

Koealojen vähäisyyden, poikkeavan maa-lajijakauman ja tulosten suuren hajonnan vuoksi tuloksia ei voi yleistää kovinkaan laajasti. Tutkimuksen tavoitteenakaan ei ollut erityisesti yleistettävien keskiarvojen, vaan juuri tietyissä oloissa muokkausalueilla vallitsevien maan vesitalousolojen selvittäminen ja niiden maan ilmanvaihdoista antamien viitteiden tarkastelu. Tähän aineisto antaa kohtuulliset mahdollisuudet ja tulokset kattavat myös melkoisen kasvupaikkaolojen vaihtelun. Tutkimuskauden sateisuuden vuoksi tulokset kuvaavat keskimääräistä märempiä olosuhteita.

Tässä tutkimuksessa kasvuolosuhteita on kuvattu vain maan fysikaalisilla ominaisuuksilla, kuten tiheydellä, huokostila- sekä vesitaloustunnuksilla, vedenpidätysominaisuuksilla, vesipotentiaalilla, vesipitoisuudella ja pohjavedenpinnan syvyydellä. Taimien kasvuun vaikuttavat myös maan kemialliset ominaisuudet. Kuitenkin voidaan sanoa, että nyt tutkitut tunnuksien luovat sen fyysisen ympäristön, jossa taimien on tultava toimeen ja joka myös vaikuttaa suuresti ravinteiden kierroksen aikaansaavan maan eliöstön toimintaedellytyksiin.

Aurauksen vaikutus maan vesioloihin perustuu vakojen vedenjohtokykyyn ja siihen, että palteet tulevat muuta maanpintaa korkeammalle. Vakojen kyky johtaa vettä pois riippuu niiden syvyydestä, joka oli nyt valituilla alueilla hyvä (30-45 cm) ja kaltevuudesta, joka vaihteli välillä 0-3 %. Kaltevuus oli turvemaan koealoja lukuunottamatta riittävä pintavesien johtamiseksi. Osalla turvemaan koealoista tehokkaamman ojituksen tarve tuli selvästi esille.

Aurauspalteet olivat kohteilla hyvin muodostuneita ja keskimäärin 15-20 cm korkeita. Alkuperäisen maan rakenteen rikkoutuminen palteissa lisäsi maan huokostilavuutta ja etenkin suurten huokosten osuutta. On kuitenkin muistettava, että tutkitut alueet oli muokattu vasta muutama vuosi ennen mittauksia ja palteet saattavat ainakin jossakin määrin tiivistyä ajan kuluessa ja näin menettää kuohkeuttaan. Kivennäismaista muutos oli selvempi lajittuneilla hietamailla kuin karkeajakoisem-

millä moreenimailla. Huokostilavuuden kasvu ilmeni koskemattomasta maasta hieman pienempänä tiheytenä mikä on todettu ennenkin (esim. Lähde 1978, Lähde ym. 1981). Turpeen tiheys oli 10 cm:n tutkimussyvyydellä kuitenkin yhtä suuri molemmissa ja kuohkeusero ilmeni vain suurhuokosten runsautena.

Kasvukauden keskimääräinen maaveden potentiaali oli palteissa selvästi pienempi kuin koskemattomassa maassa kaikilla soistuneisuusasteilla, mutta koskemattomassa maassa oli potentiaali eri etäisyyksillä muokkausvaosta lähes yhtä suuri. Maaveden potentiaalien ero koskemattoman maan ja palteen välillä vastasi kangasmaalla hyvin ennen esitettyjä (vrt. taulukko 6). Readin ym. (1973) esittämät korkeammat potentiaalivot selittyvät suurella mittaussyvyydellä (30 cm) ja sateisella ilmastolla. Tosin myös kesä 1974 oli keskimääräistä sateisempi. Eri ajankohtina tehdyt vertailut maaveden potentiaalissa sekä maan vesipitoisuusmääritykset osoittivat kuitenkin, että kosteuseroja koealojen sisällä mittauspisteiden välillä esiintyi ainoastaan kuivina kausina. Tilanne voi olla erilainen kuivempina vuosina, sillä Ritariin ja Lähteen (1978) tutkimilla hienojakoisilla mailla aurauksen palle oli piennarta kuivempi kaikkina ajankohtina, vaikka mittausajankohdalla olikin selvä vaikutus kosteuseroihin.

Maaveden potentiaalin vaihtelu oli suurin palteissa. Sadekausina palle kostui nopeimmin humuskerroksen tasaavan vaikutuksen puuttuessa ja sadeveden imeytyessä helposti kuohkeutuneeseen palteeseen, kuten myös Söderström (1975) ja Mälkönen (1976) ovat todenneet. Myös maan kuivuminen sateettomina kausina oli aina nopeinta palteissa. Kangasmaan osalta tämä on todettu ennenkin (esim. Read ym. 1973, Söderström 1975, Mälkönen 1976, Lähde ym. 1981). Palteen kuivumisnopeuden ero koskemattomaan maahan verrattuna oli sitä pienempi mitä lähempänä maanpintaa pohjavedenpinta oli, mikä kuvaa veden kapillaarisen nousun merkitystä pintamaan kosteudelle. Syynä lienevät osittain myös vedenpidätysominaisuuksien erot.

Alhaisimmat todetut maaveden potentiaalit palteissa olivat hiekkamoreenimailla noin -65 kPa ja hietamailla noin -55 kPa, jotka eivät vielä ole taimien kasvua rajoittavia. Mittausvuosi oli kuitenkin keskimääräistä satei-

Taulukko 6. Maaveden potentiaali keskimäärin (kPa) kasvukauden aikana eri osissa muokkausprofiilia A) Readin ym. (1973) (kasvukausi 1969), B) Söderströmin ym. (1978) (kasvukausi 1974) ja tämän tutkimuksen mukaan C) kangasmaalla ja D) soistumalla. Mittauspisteet: 1 = palle, 2 = piennar/palteen alus, 3 = laikku/koskematon maa.

Table 6. Mean soil water matric potential (kPa) during the growing season in different measuring points of ploughed areas after A) Read et al. (1973) in 1969, B) Söderström et al. (1978) in 1974 and this study C) in mineral soil and D) paludified mineral soil. Measuring points: 1 = plough ridge, 2 = furrow bank/under the plough ridge, 3 = untouched/scarified soil.

Tutkimus - Research	Mittauspiste - Measuring point		
	1	2	3
A	-3,1	-2,5	-
B	-16,9	-10,8	-10,9
C	-14,7	-8,3	-8,0
D	-13,7	-5,8	-3,8

sempi ja tulosten perusteella voidaan olettaa, että pidempinä poutakausina kuivuminen olisi vielä jatkunut, jolloin myös tensiometrin mittausalueen alaraja -85 kPa olisi tullut pian vastaan. Esimerkiksi Söderströmin (1975) tutkimuksessa kasvukaudelta 1970 havaittiin myös tensiometrin mittausalueen alittavia maaveden potentiaaleja.

Kangasmaan ja soistuman palteissa maaveden keskimääräinen potentiaali oli lähellä puiden taimille yleisesti optimaalisena pidettyjä arvoja. Koskemattomassa maassa arvot olivat kangasmaallakin kuivimpia kausia lukuun ottamatta huomattavasti tätä suurempia, joten on syytä tarkastella maan ilmanvaihtotilannetta. Määritettyjen vedenpidätyskäyrien avulla saadaan koskemattoman maan keskimääräistä potentiaalia vastaavaksi ilmatilaksi seuraavia arvoja:

	Riihivaara I	Jukajoki I
Kangasmaa	20-28 %	30-34 %
Soistunut maa	9-20 %	22-27 %
Turvema	0-30 %	17-25 %

Jukajoella turvema oli tehokkaasti ojitettu ja kuivatusvaikutus ulottui vielä soistumallekin. Riihivaaran lajitekoostumukseltaan hie-



nojakoisella maalla maan heikko ilmanvaihto tulee rajoittamaan taimien juuriston kasvamista ulos palteesta ainakin märkinä vuosina (vrt. Kozłowski 1986). Samaan johtopäätökseen tultiin myös vertailemalla maaveden potentiaalain kulkua 10 %:n ilmatilaosuutta vastaavaan potentiaalitasoon, jolloin sekä Riivihaaran ja Iljanvaaran koealueiden soistuneilla osilla että Iljanvaaran kangasmaalla usein todettiin esiintyvän juurten kasvulle riittämättömät ilmanvaihto-olosuhteet jo 10 cm:n syvyydessä. Sama tilanne on todettu Pohjois-Suomessa myös aurauksen pientareissa (esim. Lähde ym. 1981). Heikosti kuivatulla turvemaalla maaveden potentiaali oli sateisina kausina usein positiivinen, jolloin maa on jo veden kyllästämää ja ilmanvaihto hyvin heikkoa.

Pohjavedenpinnan syvyyden ja pintamaan kosteuden välistä riippuvuutta on Suomessa tutkittu lähinnä ojitetuilla turvemailla, joilla se on havaittu sitä suoraviivaisemmaksi mitä pienempi on pohjavedenpinnan syvyys (Heikurainen ym. 1964, Ahti 1978). Kapillaarinen vedennousu ei ehdi täysin korvata haihdunnan aiheuttamaa kosteusvajausta, jos pohjavedenpinta on yli 30 cm mittauskohtaa syvemmällä (Laine ja Mannerkoski 1975, Mannerkoski 1985). Kyseinen rajaetäisyys on kuitenkin turpeen vedenläpäisevyys- ja -pidätysominaisuuksista riippuvainen. Sadeveden imeytymisen hitaus taas aikaansaa päinvastaisia poikkeamia keskimääräisestä riippuvuudesta (vrt. Ahti 1978). Lähellä pohjavedenpintaa maaveden potentiaali on yleensä aina tästä mitatun etäisyyden määräämä (ks. esim. Hillel 1971). Pohjavedenpinnan syvyys selittää myös todetut soistuma- ja turvemaakoealojen koskemattoman maan pintakosteuserot.

Vertaamalla maaveden potentiaalia pohjavedenpinnan syvyyteen voidaan tehdä päätelmiä kapillaarisesta yhteydestä palteen ja pohjamaan välillä soistuma- ja turvemaakoealoilla. Yhteyden heikkeneminen maan kuivussa oli hyvin selvä soistumakoealojen palteissa, jotka kuivuivat huomattavasti enem-

män kuin pohjavedenpinnan syvyys olisi edellyttänyt. Palteen ja sen alla olevan kivennäismaan väliin jäävä kaksinkertainen pintakasvillisuus- ja humuskerros muodostaa suurihuokosisen kerroksen, jossa nopealle kapillaariselle vedennousulle ei ole edellytyksiä vesipitoisuuden laskettua tietyn rajan alle. Kangasmaalla humuskerroksen vaikutus on mitä ilmeisimmin samanlainen kuin soistumalla.

Turvemaalla palteen ja pohjaveden välinen kapillaariyhteys näytti säilyvän hyvänä pitempään johtuen lähinnä pienestä pohjavedenpinnan syvyydestä (vrt. Laine ja Mannerkoski 1975, Mannerkoski 1985). Tosin turvemaalla ei aina myöskään esiinny hyvinmuodostuneen palteen ja pohjamaan välissä huokoskoon suhteen selvästi eroavaa eriste-kerrosta. Poikkeuksen muodostivat Jukajoen koealueet, joilla pohjavedenpinnan syvyys oli niin suuri, että kapillaarinen yhteys oli heikentynyt jo koskemattomassakin maassa.

Tutkimuksessa selvitettiin palleanaurauksen vaikutuksia, mutta koskemattoman maan tulosten voidaan ajatella soveltuvan pääosin myös piennaraurausalueille. Palteiden muodostuminen on piennaraurauksessa kuitenkin heikompaa ja vakojen syvyys yleensä pienempi kuin palleanaurauksessa, joten palteen tuloksia ei voi rinnastaa ja vakojen vaikutus lienee jonkin verran lievempi.

Palleaurauksen vaikutus maan vesitalouteen ja ilmanvaihtoon osoittautui, ainakin sateisena kesänä, jäävän vakojen välisessä koskemattomassa maassa vähäiseksi. Kun puiden juuret kasvavat palteen ulkopuolelle, on odotettavissa vaikeuksia hienojakoisilla ja tiiviillä sekä vedenvaivaamilla mailla, joilla auraukset kuivattava vaikutus ei näytä olevan riittävä ellei peruskuivatus ole kunnossa.

Käytännön metsänuudistamisessa metsäaurauksen käyttö ei siis ole perusteltua alueilla, joilla liiallinen vesi tai heikko ilmanvaihto maassa ovat ensisijaisia puiden taimien kasvua rajoittavia tekijöitä.

## 5. Tulosten yhteenveto ja päätelmät

Tutkimuksen päätulokset olivat seuraavat:

Maan rakenne muuttui palteissa koskemattoman maahan verrattuna kuohkeammaksi siten, että kokonaishuokostilavuus ja suurimpien huokosten osuus lisääntyivät.

Kasvukauden keskimääräinen maaveden potentiaali oli aurauksen palteessa selvästi pienempi kuin muokkausvakojen välisessä koskemattomassa maassa. Sama ero näkyi selvänä vertailuksi otetuissa vesipitoisuusnäytteissä. Koskemattoman maan kosteudessa eri etäisyyksillä muokkausvaosta ei ollut eroja. Siinä oli kuitenkin varsinkin sateisina kausina selviä eroja eri koealojen välillä, olleen suurin turvemaalla ja pienin kangasmaalla.

Palteissa ei ilmennyt merkkejä liiallisesta kuivumisesta tutkimuskautena, joka oli keskimääräistä sateisempi. Potentiaalain vaihtelu oli palteessa suurinta. Palteen ja koskemattoman maan välinen ero oli kangasmaalla ja soistumalla suurempi kuin turvemaalla, koska kapillaarinen vedennousu heikkeni palteen ja sen alla olevan maan väliin jäävän humuskerroksen vuoksi. Koskemattomassa maassa turvemailla ja soistumilla oli yleensä

hyvä yhteys pintamaan kosteuden ja pohjavedenpinnan syvyyden kesken.

Maaveden potentiaali oli puiden taimien kasvua ajatellen edullisin palteissa. Koskemattomassa maassa vesipitoisuus oli huomattavan osan ajasta liian suuri ajatellen maan hyvää ilmanvaihtoa, varsinkin soistumalla ja turvemaalla.

Auraukset johtivat sadeveden pois soistumalta, kun maa oli kaltevaa ja muokkaus oli suoritettu kaltevuuden suunnassa. Pohjavedenpinta laski sateettomana kautena suhteellisen nopeasti auraukset pohjan tasolle myös niiden välisellä alueella. Turvemaalla koealoilla, jotka sijaitsivat maastoltaan tasaisilla alueilla, vesi keräytyi vakoihin eikä niillä ollut merkitystä veden johtamisessa.

Tulosten mukaan metsäaurauksella voidaan parantaa maan vesitaloutta taimien kannalta niiden alkukehityksen aikana palteissa. Metsäaurauksella ei kuitenkaan saada vesitaloudeltaan ongelmallisilla alueilla aikaan riittävää pitkäaikaisen kehityksen turvaavaa yleiskuivatusta. Taisailla vedenvaivaamilla alueilla aurauksen täydentäminen ojituksella on näin välttämätöntä.

## Kirjallisuus

- Ahti, E. 1971. Maaveden jännityksen mittaamisesta tensiometrillä. Summary: Use of a tensiometer in measuring soil water tension. *Folia For.* 112: 10 s.
- 1978. Maaveden energiasuhteista ojitetulla suolla. Summary: Energy relationships of soil water on drained peat. *Commun. Inst. For. Fenn.* 94(3): 56 s.
- Braekke, F.H. 1983. Water table level at different drainage intensities on deep peat in Northern Norway. *For. Ecol. Manage.* 5: 169–192.
- Brühlhart, A. 1969. Jahreszeitliche Veränderungen der Wasserbindung und der Wasserbewegung in Waldböden des schweizerischen Mittellandes. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* 45: 125–232.
- Burger, J.A. & Pritchett, W.L. 1988. Site preparation effects on soil moisture and available nutrients in a pine plantation in the Florida flatwoods. *For. Sci.* 34(1): 77–87.
- Bäcke, J., Larsson, M., Lundmark, J.-E. & Örländer, G. 1986. Ståndortsanpassad markberedning – teoretisk analys av några markberedningsprinciper. Redog. ForsknStift. Skogsarb. 3: 48 s.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. Seloste: Maan raekoostumuksen määrittäminen. *Acta Agr. Fenn.* 122: 1–122.
- Glinski, J. & Stepniewski, W. 1985. Soil aeration and its role for plants. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 299 s.
- Heikurainen, L., Päivänen, J. & Sarasto, J. 1964. Ground water table and water content in peat soil. *Acta For. Fenn.* 77(1): 18 s.
- Hillel, D. 1971. Soil and water. Physical principles and processes. Academic Press. London. 288 s.
- Huikari, O. 1959. On the effect of anaerobic media upon the roots of birch, pine and spruce seedlings. Seloste: Kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimien juuristoihin. *Commun. Inst. For. Fenn.* 50(9): 28 s.

- Kaila, S. & Päivänen, J. 1978. Metsämaan muokkauksen tavoitteet ja nykyinen muokkauksalusto. Metsätalon katsaus 7. 6 s.
- Karjula, M., Kaila, S., Parviainen, J., Päivänen, J. & Räsänen, P.K. 1982. Metsänviljelyn vaihtoehtojen valintaperusteet kivennäismailla. Kirjallisuustarkastelu. Joensuun tutkimuskeskus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 56. 103 s.
- Kauppi, A. & Lähde, E. 1975. Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. Summary: On the effects of soil treatments on forest soil properties in North-Finland. *Folia For.* 230. 29 s.
- Kozłowski, T.T. 1986. Soil aeration and growth of forest trees (Review article). *Scand. J. For. Res.* 1(1): 113–123.
- Laine, J. & Mannerkoski, H. 1975. Tensiometrin käyttö turvemaiden kosteusolojen kuvauksessa. Summary: On the use of tensiometers in describing moisture conditions of peat soils. *Suo* 26(2): 17–24.
- Lundin, L. 1979. Kalkhuggnings inverkan på markvatthalt och grundvattnivå. Summary: The effect of clearcutting on soil moisture and groundwater level. *Sveriges lantbruksuniversitet. Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära* 36. 35 s.
- Lähde, E. 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. *Commun. Inst. For. Fenn.* 94(5). 59 s.
- , Manninen, S. & Tervonen, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. Summary: The effects of drainage and cultivation on soil physical properties and the development of conifer seedlings. *Commun. Inst. For. Fenn.* 98(7). 43 s.
- Mannerkoski, H. 1983. Käytännöllinen vedenpinnan mittauslaite. Summary: An audible buzzer apparatus for indicating water-table levels. *Suo* 34(2): 49–51.
- 1985. Effect of water table fluctuation on the ecology of peat soil. Tiivistelmä: Vedenpinnan vaihtelun vaikutus turvemaan ekologiaan. *Helsingin yliopiston suomensäätieteen laitoksen julkaisu* 7. 190 s.
- Mutka, K. & Lähde, E. 1977. Effect of soil treatment, liming and phosphate fertilization on initial development of bare-rooted Scots pine transplants. *Seloste: Maan käsittelyn, kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 91(3). 57 s.
- Mälkönen, E. 1976. Markberedningens ekologi och inverkan på planteringsresultatet. *Redog. Forskn-Stift. Skogsarb.* 6: 11–15.
- 1983. Maan kunnostaminen metsänuudistamisessa. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 15.11.1983. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 124: 6–16.
- Pelkonen, E. 1979. Männyn ja kuusen taimien kyvystä sietää tulvaa vuoden eri aikoina. Summary: Seasonal flood tolerance of Scots pine and Norway spruce seedlings. *Suo* 30(2): 35–42.
- Pohtila, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. *Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 91(4). 98 s.
- Päivänen, J. 1982. Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsäojitusalueen vesitalouteen. Summary: The effect of cutting and fertilization on the hydrology of an old forest drainage area. *Folia For.* 516. 19 s.
- Read, D.J., Armstrong, W. & Weatherell, J. 1973. The effects of cultivation treatment on water potential and soil aeration in wet heathland with special reference to afforestation. *J. Appl. Ecol.* 10(2): 479–487.
- Ritari, A. & Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of soil in a thick-humus spruce stand. *Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 92(7). 37 s.
- Ross, S.M. & Malcolm, D.C. 1982. Effects of intensive forestry ploughing practices on an upland heath soil in South East Scotland. *Forestry* 55(2): 155–171.
- Schulin, R. & Richard, F. 1984. Zusammenhänge zwischen Entwässerbarkeit von Nassböden, makromorphologischen Bodenmerkmalen und Anwuchserfolg der Fichte. *Resume: Relations entre les possibilités d'assèchement de terrains humides, les caractéristiques macromorphologiques du sol et les résultats obtenus dans la mise à demeure de l'épicéa.* *Schweiz. Z. Forstw.* 135(10): 833–845.
- Schuster, C. 1974. *Wasserspiegelabsenkung zwischen zwei Drainagegräben in natürlich gelagertem Boden am Hang.* *Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versuchsw.* 50. 83 s.
- Söderström, V. 1975. *Ekologiska verkningar av hyggesplogning.* Summary: Ecological effects of ploughing mineral soil before planting on clearfelled areas. *Sveriges SkogsvFörb. Tidskr.* 73(5): 443–472.
- 1976. *Analys av markberedningseffekterna vid plantering på några färska hyggen.* Summary: Analysis of the effects of scarification before planting conifers on some newly clearfelled areas in Sweden. *Sveriges SkogsvFörb. Tidskr.* 74(2–3): 59–333.
- , Bäcke, J., Byfalk, R. & Jonsson, C. 1978. *Jämförelse mellan plantering i jordrabatter och efter andra markberedningsmetoder.* Summary: Comparison between planting in mineral soil heaps and after some other soil treatment methods. *Skogshögskolan. Rapporter och uppsatser* 11. 143 s.
- Varfolomejev, L.A. & Shamin, A.A. 1980. *Vlijanie obrabotki torfjano-bolotnyh potsv severnoj tajgi na ih vodno-fizitseskie svoystva i biologitseskuju aktivnost.* Summary: Effects of tillage on water-physical properties and biological activity of bog soils in the north taiga. *Lesoved.* 5: 44–51.

Total of 36 references

## Summary

### *Soil water conditions and air-filled porosity on ploughed reforestation areas*

In this investigation the effects of forest ploughing on the water relations and hence on soil aeration conditions in clearcut regeneration areas are outlined.

The five research areas were located in Eastern Finland (Fig. 1, A). They were placed on gently sloping low elevated soils where the sample plots were located 1) on normal mineral soil (podsol), 2) on paludified mineral soil with not more than 10 cm of peat (humic podsol) and 3) on deep peat (Fig. 1, B). On three of the research areas the mineral soil was silt (glaciofluvial delta deposit) and on the two others sandy loam (glacial till) (see Fig. 2). Peat soils were fairly humified Sphagnum-sedge peat with some woody remains. In summer 1987, soil water matric potential was measured daily with tensiometers (mercury manometer type) in the sample plots, at different measuring points (see Fig. 1, C) at the depth of 10 cm from the soil surface. Volumetric soil cores (98.2 cm<sup>3</sup>) were also taken from these points on two dates (see Fig. 7) to determine soil water contents and water characteristic curves. On sample plots of paludified mineral soil and peatland the vertical distance between the soil surface and the ground water table was also measured using wells (Ø 5 cm) dug in the furrow and mid-way between the furrows.

From the water characteristic curves in Fig. 3 we can see that ploughing had resulted in the increase in the volume of the largest pores and thus consequently resulted in the decrease in the soil bulk density in plough ridges.

The soil water matric potential in the surface soil varied considerably as a result of water infiltration during precipitation and drainage and evapotranspiration in dry periods (Figs. 4 and 5). The variation was greatest in plough ridges and smallest in untouched soil mid-way between the furrows (Figs. 4 and 5, Table 1). On the average, soil water potential was lowest in the plough ridges. In untouched soil, there were no significant differences between the measuring points (Table 1). On closer examination the difference between ridges and untouched soil was statistically significant only for periods without any or with only very low precipitation (Table 2). Mean matric potential was lowest in mineral soil and highest in peat in all precipitation conditions.

The increase of matric potential in relation to the amount of precipitation was highest (1.4 kPa/mm) in

plough ridges on mineral and paludified mineral soil sample plots compared to all other measuring points where it was about 0.4–0.6 kPa/mm (Fig. 6). The decrease in matric potential in nonrainy periods was the greatest in plough ridges (c. 2.5–2.8 kPa/d) compared to the other measuring points of these sample plots (0.6–1.0 kPa/d), but in peatland plots it was much smaller (0.4 for ridges, 0.2–0.25 for other measuring points) (Table 3). The differences in these indices are based on differences in water retention and hydraulic conductivity (not measured) of the soils in question. The volumetric soil water content follows the matric potential and was found to be lowest in plough ridges and mineral soils (Fig. 7). The course of the ground water table can be seen in Fig. 8. The ground water table was at deeper levels on paludified mineral soil plots than on peatland plots within the same research area (Table 4). Peatland plots in Jukajoki research areas (IV, V) were drained effectively and thus the ground water table in these plots was at a rather low level. The relation between matric potential and water table depth from the soil surface can be seen from Fig. 9 and the corresponding linear regression equations from Table 5. The results indicate that the capillary connection between surface soil and ground water has been broken or at least very much decreased in the case of plough ridges on paludified mineral soil plots, and most probably also on mineral soils, although ground water measurements were not taken there. The finding was similar on effectively drained peatland sample plots in Jukajoki I and II research areas.

Results presented here agree well with the earlier results from corresponding conditions (e.g. Laine and Mannerkoski 1975, Söderström 1975, Mälkönen 1976, Ritari and Lähde 1978, Söderström et al. 1978, Lähde et al. 1981). The lowest matric potential measured was –65 kPa. The beneficial effect of regeneration ploughing was evident only in plough ridges. Between or under plough ridges on fine-textured mineral soils unfavourable aeration conditions for the roots of forest tree seedlings can occur, especially on a rainy period like summer 1987. These phenomena are pronounced on paludified mineral soils and peatlands, where ditches are not in good condition. Further results concerning soil aeration in regeneration areas will be published later.