

MAAN TIIVIYDEN VAIKUTUS MÄNNYNTAIMIEN HAIHDUNTAAN JA PITUUSKASVUUN ISTUTUKSEN JÄLKEEN

SMOLANDER, H., RÄSÄNEN, P. K. ja KOSTAMO, J.

SUMMARY:

EFFECT OF SOIL COMPACTION ON TRANSPIRATION AND HEIGHT INCREMENT OF PLANTED SCOTS PINE SEEDLINGS.

Saapunut toimitukselle 1980-12-12

Suppeassa astiakokeessa selvitetiin miten maan tiiviys vaikuttaa männynntaimien haihduntaan ja pituuskasvuun istutuksen jälkeen. Istutusmaana oli löyhä ja tiivis hietä sekä löyhä ja vastaavasti tiivis hietamoreeni. Tiiviit maat vastasivat metsämaissa normaalisti esiintyviä ja löyhät muokatussa metsämaassa esiintyviä tiiviyksasteita. Erillisessä kuivatuskokeessa tutkittiin lisäksi maan tiiviyden vaikutusta taimien haihduntaan kuivuuden vallitessa.

Istutuksen jälkeen tiiviiseen maahan istutetut taimet haihduttivat enemmän kuin löyhään istutetut. Kasvukauden puolivälissä alkanut haihdunnan elpyminen oli kuitenkin nopeampaa löyhään maahan istutetuilla taimilla. Tiiviiseen hietamoreeniin istutettujen taimien haihdunta alkoi vähentyä kuivuuden vallitessa suuremmissa vesipitoisuuksissa kuin löyhään maahan istutettujen. Hiedassa ei havaittu vastaavaa eroa. Tiiviys ei vaikuttanut pituuskasvun kokonaismäärään, mutta hieman sen ajoittumiseen.

JOHDANTO

Maan tiiviyden vaikutusta istutustaimien alkukehitykseen on Suomessa sivuttu kahden tyyppisissä tutkimuksissa. Toisaalta on tutkimuksia erilaisten maanmuokkaustapojen vaikutuksesta metsämaan fysikaalisiin ominaisuuksiin. (MÄLKÖNEN 1972, KAUPPILA ja LÄHDE 1975, LEIKOLA 1974, RITARI ja LÄHDE 1978, LÄHDE 1978). Toisaalta on tehty laajoja selvityksiä metsänviljelyn onnistumisesta erilaisilla muokkausjäljillä (esim. POHTILA 1977, MUTKA ja LÄHDE 1977). Hyvin vähän on sensijaan tutkittu taimien elintoimintojen kehitystä sen mukautuessa kasvupaikalle.

Maan tiiviyttä on useimmiten kuvattu tilavuuspainon avulla (esim. HEINONEN 1960). Tilavuuspaino ei kuitenkaan kuvaa sitä vas-

tusta, jonka juuret joutuvat voittamaan tunkeutuessaan maahan, sillä esimerkiksi maan kosteuden lisääntyessä vastusvoima heikkenee. TAYLOR ja RATLIFF (1969) käyttävät käsitettä "soil strength" kuvaamaan maan kykyä vastustaa siihen kohdistuvia mekaanisia voimia. Mittauslaitteena käytetään penetrometriä, joka antaa maan vastuksen paineen yksikkönä. Ongelmana penetrometrin mitaustulosten ekofysiologisessa tulkinnessa on se, ettei ole kehitetty laitetta, joka riittävän hyvin simuloisi juuren kärjen tunkeutumista maahan. Tästä syystä penetrometreillä tehdyt tutkimukset eivät ole yhteismitallisia sellaisten kokeiden tulosten kanssa, joissa juuret ovat kasvaneet painekammiossa kauttaaltaan ylipaineen alaisena (esim. GOSS 1977). Esimer-

kiksi TAYLOR ja RATLIFF (1969) ovat penetrometrisesti todenneet, että tarvitaan 720 kPa:n mekaaninen vastus alentamaan puuvillan juurten kasvunopeus puoleen, kun GOSS (1977) puolestaan on todennut painekammiokeissaan ohran juurten kasvun alentuvan puoleen jo 20 kPa:n ylipaineessa. Tulosten välinen ero johtunee ensisijaisesti mittaustekniikasta.

Kasvun hidastumisen lisäksi voimistuva maan mekaaninen vastus aiheuttaa sellaisia morfologisia muutoksia, joilla on ilmeinen vaikutus juurten vedenottokykyyn. (WILSON ym. 1977). Ylipaineen alaisena kasvaneista juurista kehittyy normaalia paksampia, mikä johtuu erityisesti kuoren paksunemisesta. Maan tiivistyminen vaikuttaa kasvien fysiologisiin toimintoihin myös välillisesti muuttamalla maan fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Näitä ilmiöitä on meillä tarkasteltu enemmän kuin mekaanisen vastuksen vaikutusta sinänsä. Tiiviin maan vedenpidätyskyky on pienempi kuin löyhän. Pienen huokostilan ja hitaan kaasujen diffuusion vuoksi vallitsevat tiivissä maassa usein anaerobiset olot, jotka hidastavat juuriston elintoimintoja.

MATERIAALIA JA MENETELMÄ

Tutkimuksen kenttätyöt tehtiin kesällä 1975 Metsikön perustuotantoryhmän ekologisella mitta-asemalla Hyytiälässä (61° 51' N., 24° 17' E., korkeus 141 m.p.y.). Kokeessa seurattiin ruukkuihin istutettujen männynntaimien (*Pinus sylvestris* L.) haihduntaa ja pituuskasvua istutuksen jälkeen. Kasvualustana ruukussa oli joko löyhä tai tiivis hietä tai vastaavasti hietamoreeni. Hietä oli peräisin puolukkatyyppin ja hietamoreeni mustikkatyyppin kankaalta. Maa oli muuttumatonta pohjamaata, jonka humuspitoisuus oli alle 1,5 %. Hietamoreenista seulottiin yli 2 mm:n sora pois.

Koemateriaalina käytettiin Hietikon taimitarhalla kasvatettuja Vilppulan alkuperäisiä olleita männyn taimia (2A+1A), jotka nostettiin taimitarhalla 8. toukokuuta, kuljetettiin välittömästi Hyytiälään ja valeistutettiin varjoisan ojanpenkkaan. Taimierästä istutettiin kokeen alussa 23. ja 24. toukokuuta 32 hyvälaatuisia tainta asbestiruukkuihin (18×18×22 cm³) seuraavan koejärjestelyn mukaisesti:

Vedenottokyky säilyy vain juuriston jatkuvasti uusiutuessa (RUSSEL 1977).

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kysymystä, miten maan tiiviys vaikuttaa männynntaimien haihduntaan ja pituuskasvuun istutuksen jälkeen sekä haihduntamittausten perusteella selvitetään maan tiiviyden vaikutusta taimien veden saantiin kuivuuden vallitessa.

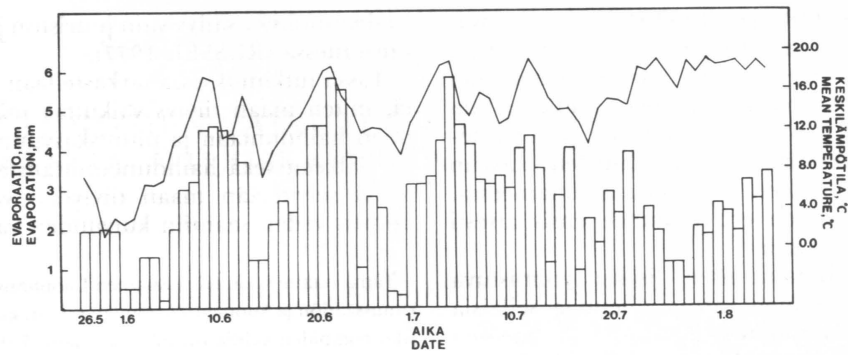
Tämä tutkimus on tehty Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiön ja Suomen Akatemian rahoituksella. Työnjako tekijöiden välillä on ollut seuraava. Lähtökohtana olivat Räsänen aikaisemmin tekemät esikokeet. Hän suunnitteli kokeen, osallistui sen perustamiseen ja mitauksiin sekä ohjasi työn. Kostamo hoiti ja pääosin mittasi kokeet, laski kokeet, laski alustavat tulokset sekä kirjoitti aiheesta pro gradu -työnsä. Smolander avusti laskennassa Kostamoa ja käsittelee aineiston julkaisua varten uudelleen. Hän myös lyhensi ja viimeisteli yhdessä Räsänen kanssa käsikirjoituksen.

Työn eri vaiheissa ovat avustaneet MMK Erkki Hallman, MMT Pertti Hari ja MMK Mikko Ylinen. Käsikirjoituksen ovat lukeneet MMK Pekka Kauppi ja MML C. J. Westman. Heille, samoin kuin kaikille muille tutkimuksessa avustaneille henkilöille ja tutkimuksen rahoittajille esitämme parhaat kiitoksemme.

Ryhmä	Kasvualustana ruukussa	Taimia, kpl
A	löyhä hietamoreeni	7
B	tiivis hietamoreeni	7
C	löyhä hietä	7
D	tiivis hietä	7

Ruukut täytettiin siten, että niiden päälle asetettujen kansiin ja maan väliin jäi 4 cm ilmatilaa. Ryhmien A ja C ruukkuja ravisteltiin kevyesti täytettäessä. B- ja D-ryhmissä tiivistäminen tehtiin nuijimalla maata ruukkuihin noin 1,3-kertainen määrä A-, ja vastaavasti C-käsittelyihin verrattuna. Välittömästi täytön jälkeen mitattiin maan tilavuus. Tämän jälkeen maahan kaivettiin kolo, johon taimi istutettiin. Istutuksen jälkeen ruukut sijoitettiin mitta-asemalle avohakkuualan reunaan rakennetulle lavalle, joka oli noin metrin korkeudella maan pinnasta. Lavan yläpuolella, noin 2,20 cm:n korkeudella maanpinnasta, oli kirkkaasta muovista tehty viisto sadekatos.

Taimien haihdunta mitattiin punnitsemalla



Kuva 1. Mittausjakson sääolot. Päivittäiset keskilämpötilat murtoviivana ja päivittäiset evaporaatiot vapaasta vesipinnasta pylväinä.
Fig. 1. Weather conditions through the experiment. Mean daily temperature drawn as solid line and daily evaporation as columns.

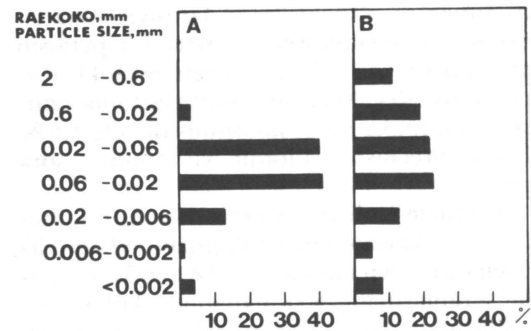
ruukkuja päivittäin 1 g:n tarkkuudella. Punnitsemisen yhteydessä ruukut kasteltiin vakio-painoon niin, että kastelun jälkeen ruukussa oli vettä 700 g. Ruukun pinnasta tapahtuvan haihtumisen estämiseksi ruukut suljettiin kak-sinkertaiseen muovipussiin, jonka suu teipattiin tiiviisti taimen juurenniskan ympärille. Taimien haihduntaa seurattiin 26. 5. ja 13. 7. välisenä aikana maan ollessa vakiokosteudessa (ryhmät A, B, C ja D). Tämän jälkeen kastelua vähennettiin, jolloin taimet joutuivat vähitellen kuivuuteen. Kuivausjakson lopussa, 5. elokuuta taimien haihdunta oli alentunut noin neljäsosaan. Kuivausjakson aikana mitattiin haihdunta myös taimitarhamaahan istutetuista taimista, jotka oli koko ajan pidetty alkuperäisessä kosteudessa (ryhmä E).

Taimien pituuskasvu mitattiin päivittäin klo 19. Mittaus tehtiin työntötkilla edellisen vuoden kasvaimen yläosaan kiinnitetystä neulasta latvasilmun kärkeen (HARI ja LEIKOLA 1974). Istutuksen yhteydessä mitattiin ennen istutusta tapahtunut pituuskasvu.

Päivittäiset evaporaatiot mitattiin punnitsemalla varjossa ollut petrimaljaa (HARI ym. 1975). Ilman lämpötilaa seurattiin sääkojuun sijoitetulla Lambrecht-252 termografilla, jonka liuskoilta lämpötilat luettiin tunnin välein puolen asteen tarkkuudella. Ruukuissa olleen maan lämpötilaa seurattiin pistokokein käsipotentiometrillä maahan upotetuista Cu-Co-termoelementeistä. Kuvassa 1 esitetään päivittäiset evaporaatiot, sekä Ilmatieteen laitoksen Hyytiälän säähavaintoasemalla mitatut keskilämpötilat mittausjakson ajalta. Lämpöhavainnot ovat peräisin 300 metrin päästä koepaikalta.

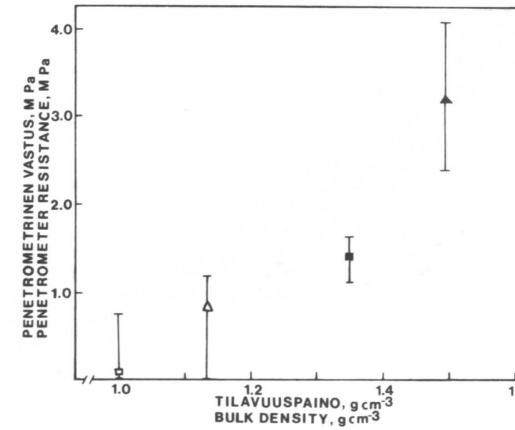
Kokeen päätyttyä mitattiin kaikista ruukuista maan tilavuus. Lisäksi kunkin ryhmän yhdestä ruukusta tehtiin mekaaninen maa-analyysi (kuva 2). Hietamoreenin ominaispainoksi saatiin 2,66 ja hiedan 2,649 g cm^{-3} . Tilavuuspainot määritettiin erikseen jokaiselle ruukulle niissä olleen maakuivapainon ja tilavuuden perusteella. Kuivapaino laskettiin istutusmaan painon ja siitä gravimetrisesti määritetyn vesipitoisuuden perusteella. Ruukussa olleen maan tilavuus mitattiin sekä kokeen alussa 24. toukokuuta että kokeen lopussa 12. elokuuta. Tilavuuspainon ja ominaispainon avulla laskettiin edelleen maan jakaantuminen tilavuuskomponentteihin sellaisessa tilanteessa, kun maassa oli vettä 700 g (kuva 3). Lisäksi määritettiin maan vedenpidätyskyky pF-arvoilla 0,6, 2,0, 3,0 ja 4,2.

Tilavuuspainon ohella maan tiiviyttä pyrit-



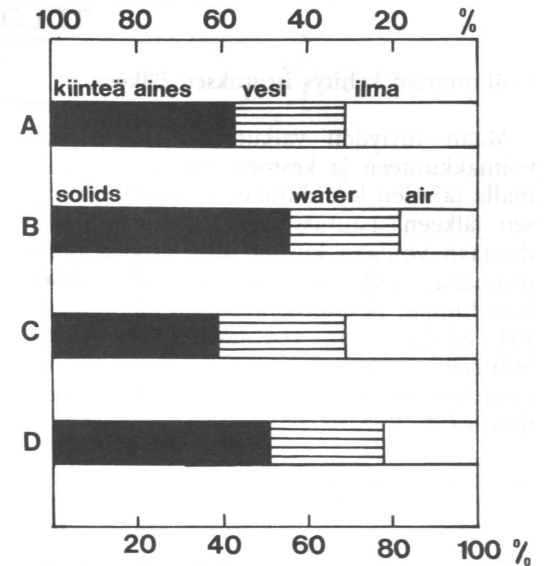
Kuva 2. Käytettyjen maalajien lajitekoostumukset, A. hietamoreeni ja B. hietä.

Fig. 2. Particle-size distribution of the soils used in the experiment. A fine-sand moraine, B fine sand.



Kuva 3. Maaryhmien keskimääräiset tilavuuspainot ja penetrometriset vastukset. Janat kuvaavat penetrometristen vastusten vaihteluväliä (eikä hajontaa). Δ hietamoreeni, \square hietä, löyhien avoimella ja tiivis mustalla symbolilla.
Fig. 3. Mean bulk density and penetrometer resistance of the soils. Bars indicate variation interval of penetrometer resistance. Δ fine-sand moraine, \square fine sand, loosely-packed open and compact closed symbols.

tiin kuvaamaan myös mittaamalla sen mekaaninen vastus Farnel 244-kartiopenetrometrillä. Laite koostui painemittarista ja kartiomaisesta terästä, jonka huippukulma oli 30° ja pohjan ala $1,28 \text{ cm}^2$. Maan vastus rekisteröitiin CBR-yksikköinä (California Bearing Ratio) ja havainnot muunnettiin Pascalleiksi. Mittaukset tehtiin maan ollessa kenttäkapasi-



Kuva 4. Maan kokonaistilavuuden jakaantuminen eri komponentteihin kasvatuskosteudessa.

Fig. 4. Distribution of total soil volume into its different compartments at the soil moisture level used in the experiment.

teetissa kunkin maaryhmän yhdestä ruukusta viidestä eri kohtaa. Tiiviyttä kuvastavat tunnuksot, tilavuuspainot ja penetrometriset vastukset on esitetty kuvassa 4. Samoista ruukuista, joista mitattiin penetrometriset vastukset ja joista tehtiin mekaaninen maa-analyysi, kuvattiin myös niissä olleiden taimien juuristot.

TULOKSET

Haihdunnan kehitys istutuksen jälkeen

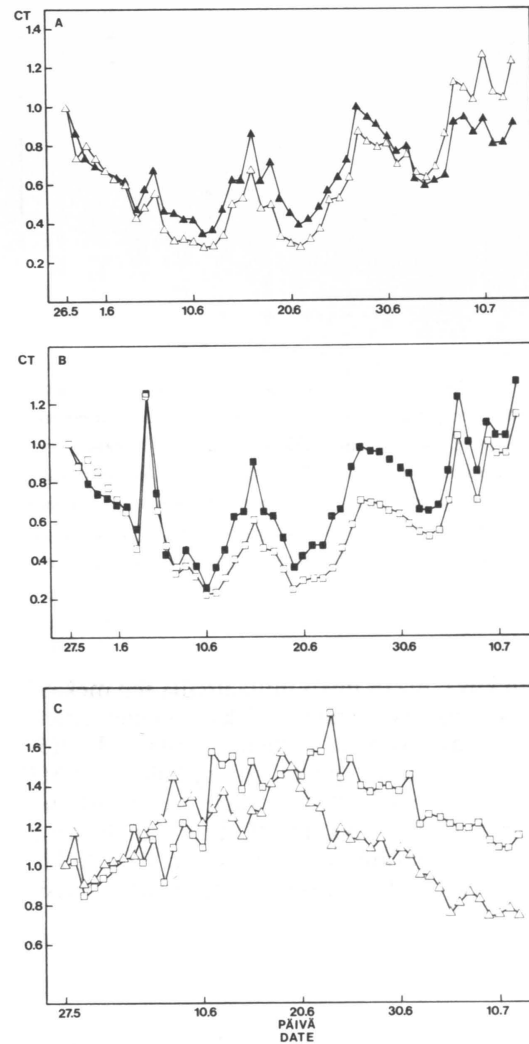
Maan tiivyyden vaikutusta istutusshokin voimakkuuteen ja kestoon tutkittiin seuraamalla taimien haihdunnan kehitystä istutuksen jälkeen. Istutusshokin vaikutusta haihduntaan voidaan kuvata suhteellisella haihdunnalla, jolla ymmärretään aktuaalisen haihdunnan H ja potentiaalisen haihdunnan PH suhdetta (vrt. HALLMAN ym. 1978). Suhteellinen haihdunta, CT, normeerattiin tasoparametrin k avulla siten, että referenssitilassa $CT \sim 1,0$:

$$(1) \quad CT = \frac{H}{k \times PH}$$

Potentiaalisen haihdunnan estimaattina käytettiin evaporaatiota (HARI ym. 1975). Koska kokeessa ei ollut mahdollisuutta kalibrointimittauksiin ennen istutusta, jouduttiin tasoparametrin k arvo ottamaan ensimmäisen mittauspäivän 26. 5. havainnosta. Näin ollen CT:n arvo on kaikilla taimilla kokeen alussa 1,0, mihin sisältyy oletus, ettei maan tiiviyys ole ehtinyt heti istutuksen jälkeen aiheuttaa eroja haihdunnassa.

Kuvassa 5A ja 5B on esitetty taimien suhteellisten haihduntojen kehitys maaryhmittäin aikavälillä 26. 5.–13. 8. Kuvaa 5C on muodostettu haihduntojen suhteet maalajeittain siten, että tiiviissä maassa kasvaneiden taimien haihdunta on jaettu vastaavalla löyhässä maassa kasvaneiden taimien haihdunnalla. Istutuksen jälkeen taimien suhteellisten haihduntojen arvot alenivat vähitellen ja olivat alimmillaan kesäkuun kymmenennen päivän paikkeilla. Tiiviissä maassa istutusshokin vaikutus haihduntaan oli pienempi kuin löyhässä maassa (kuva 5A ja B). Kuukauden kuluttua istutuksesta kaikilla taimiryhmillä havaittu elpyminen oli löyhässä maassa kuitenkin nopeampaa kuin tiiviissä maassa (kuva 5C). Hietamoreenissa elpyminen oli niin nopeaa, että kesäkuun lopussa löyhässä maassa kasvavien taimien haihdunta ylitti tiiviissä maassa kasvavien taimien haihdunnan. Hietaan istutetuilla taimilla elpymisnopeudessa havaittava ero oli samansuuntainen, mutta ei niin selvä.

Suhteellisessa haihdunnassa havaittiin päivittäistä vaihtelua, joka korreloi päivän



Kuva 5. Päivittäisten suhteellisten haihduntojen, CT, kulku kokeen aikana, A, hietamoreeni, B, hieta ja C, haihduntojen suhteet. Symbolit samat kuin kuvassa 3.

Fig. 5. Course of daily relative transpiration, CT, during experiment. A fine-sand moraine, B fine sand, and C the ratio of transpiration from seedlings planted in different treatments: compacted/loosely packed. See Fig. 3. for explanation of symbols.

säölojen kanssa. Päivittäisen evaporaation vaihtelu selitti keskimäärin 51 % CT:n vaihtelusta jaksolla 14. 6.–25. 6. ja päivittäinen lämpösomma selitti sitä jonkin verran paremmin eli 66 %. Se, että suhteellisessa haihdunnassa esiintyy voimakasta päivittäistä vaihte-

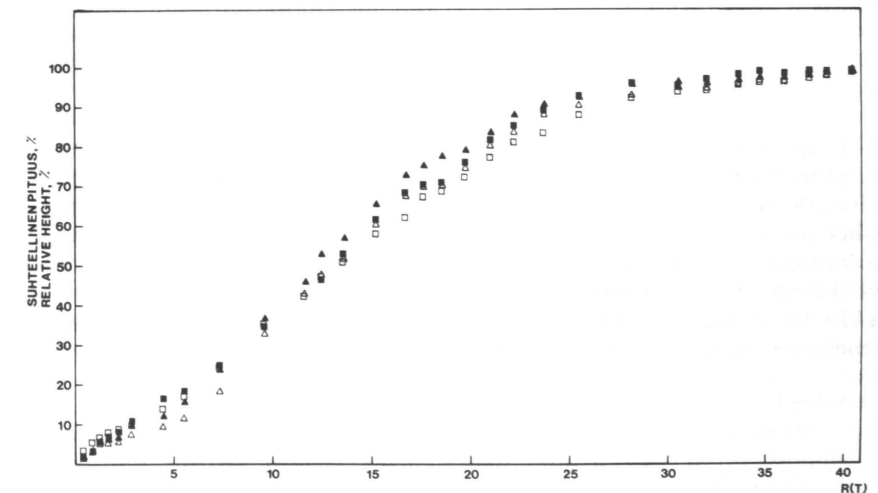
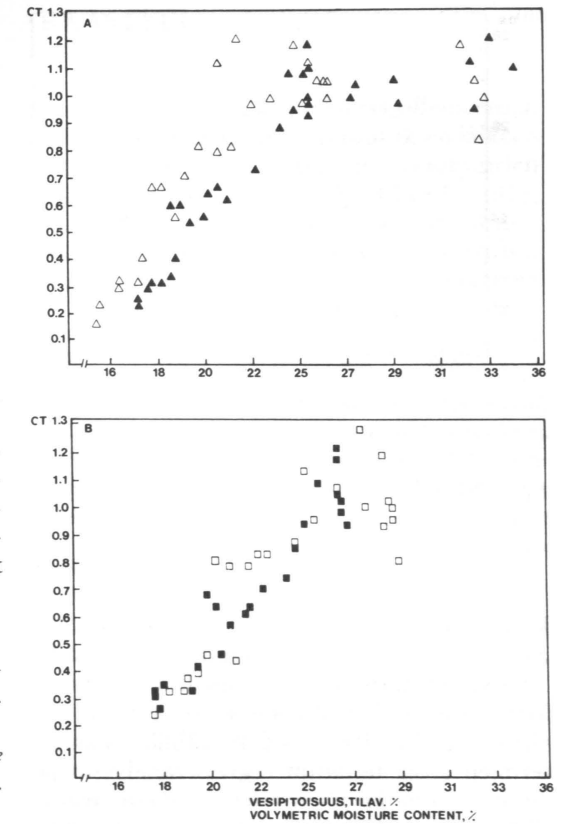
lua, merkitsee sitä, ettei käytetty lineaarinen haihduntamalli (esim. SMOLANDER ym. 1975) ole erityisen sopiva istutusshokin vaikutuksen kuvaamiseen.

Kuivuuden vaikutus haihduntaan

Kuvassa 6 esitetään mittaluvun CT päivittäiset arvot taimiryhmittäin maan vesipitoisuuden (tilavuus-%) funktiona kuivausjakson ajalta. Potentiaalisen haihdunnan estimaattina käytettiin tässä yhteydessä E-ryhmän taimien haihduntojen keskiarvoa. Havainnot on normeerattu kuivausjakson kuuden ensimmäisen päivän havaintojen perusteella. Vesipitoisuuden laskettua tietyn kynnsarvon alapuolelle suhteellinen haihdunta alenee lineaarisesti vesipitoisuuden pienetessä. Vesipitoisuus selittää varsin hyvin CT:n vaihtelut

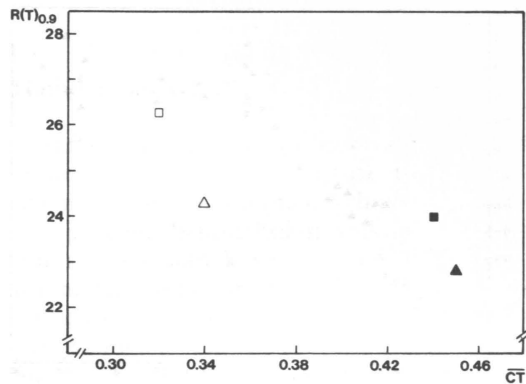
Kuva 6. Suhteellinen haihdunta, CT, maan vesipitoisuuden funktiona maaryhmittäin, A hietamoreeni ja B hieta. Symbolit samat kuin kuvassa 3.

Fig. 6. Relative transpiration, CT, as a function of the moisture content of the soil. A fine-sand moraine, B fine sand. See Fig. 3. for explanation of symbols.



Kuva 7. Istutuksen jälkeinen pituuskasvu kumulatiivisen lämpötekijän R(T) funktiona. Symbolit samat kuin kuvassa 3.

Fig. 7. Height growth following planting as a function of the cumulative temperature factor, R(T). See Fig. 3. for explanation of symbols.

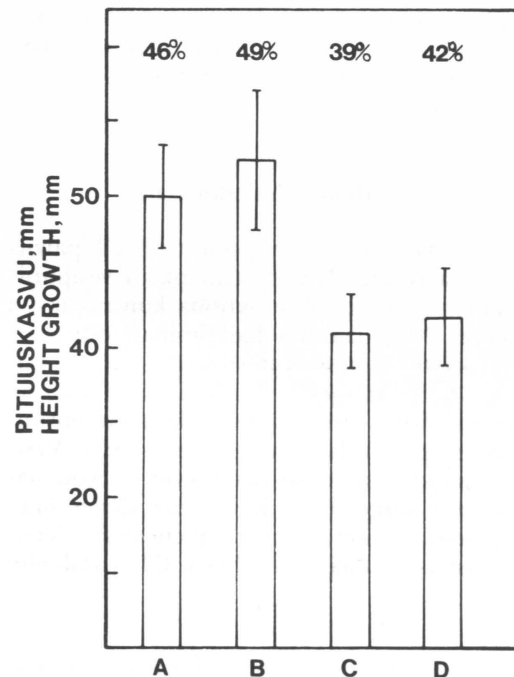


Kuva 8. 90 %:n suhteellista pituuskasvua vastaavat $R(T)$:n arvot kasvujakson keskimääräisen suhteellisen haihdunnan, CT, funktiona. Symbolit samat kuin kuvassa 3.
Fig. 8. $R(T)$ values corresponding to relative height growth of 90 % as function of mean relative transpiration, CT, for the growing season. See Fig. 3. for explanation of symbols.

kuivausjakson aikana, keskimääräinen selityskertoimien eroja testattiin regressioanalyysin ja t-testin avulla käyttäen valemuuttujana maan tiiviysastetta. Hietamoreenissa tiiviysastetta kuvanneen valemuuttujan t-arvo ($t=5.9$, $P<0.001$) oli erittäin merkitsevä, sensijaan hiedassa ei ollut merkitsevää eroa eri tiiviysasteiden välillä ($t=1.0$, $P<0.25$).

Pituuskasvu

Kuvassa 7 on esitetty istutuksen jälkeiset suhteelliset pituuskasvut kumulatiivisen lämpötekijän funktiona, jona tässä työssä käytettiin pimeähengityksen lämpötilariippuvuutta $R(T)$ nomeerattuna siten, että $R(10^\circ C) = 1.0$, kun aikayksikkönä on vuorokausi (POHJONEN ja HARI 1973). Tällä perusteella pituuskasvun eteneminen vaikutti nopeimmalta ti-



Kuva 9. Istutuksen jälkeiset pituuskasvut maaryhmittäin. Janat kuvaavat keskihajontoja ja %-luvut ilmoittavat istutuksen jälkeisen kasvun osuuden kokonaiskasvusta.
Fig. 9. Height growth following planting. Bars depict standard deviation and percentage values indicate proportion of growth, taking place following planting, out of total growth.

viin hietamoreenin taimissa ja hitaimmalta löyhän hiedan taimissa. Kuvassa 8 on esitetty 90 %:n suhteellista kasvua vastaava $R(t)$:n arvo kasvujakson keskimääräisen suhteellisen haihdunnan, CT, funktiona.

Vaikka istutusshokin on todettu alentavan selvästi kasvun tasoa (PARVIAINEN 1979), ei tässä työssä havaittu tiiviiden ja löyhien maiden välillä selviä eroja (kuva 9). Kasvujakson keskimääräinen CT vaihteli löyhän hiedan 0.32:sta tiiviin hietamoreenin 0.45:een. Hiedassa kasvu kuitenkin jäi pienemmäksi kuin hietamoreenilla.

TULOSTEN TARKASTELU

Kokeessa seurattiin löyhään ja tiiviiseen maahan istutettujen männyntaimien haihduntojen kehitystä istutuksen jälkeen. Maalajeina olivat hieta ja hietamoreeni. Ruukkuihin istutettuja taimia pidettiin ulkona avoimella paikalla sateelta suojaavan muovikatoksen alla. Taimien juuret olivat luontaisista poikkeavissa oloissa, sillä maan lämpötila kohosi aurinkoisina päivinä muutamia asteita ilman lämpötilaa korkeammalle. Lisäksi ruukut oli suljettu pinnalta tapahtuvan haihtumisen estämiseksi muovipussiin, joka ehkäisi maan luonnollista tuuletusta.

Maan tiiviyttä kuvattiin sekä tilavuuspainojen että penetrometrin vastusten avulla. Kokeessa käytetyt löyhän maan tilavuuspainot vastaavat auraspalteesta todettuja ja tiiviin maan tilavuuspainot vastaavat melko hyvin luonnontilaisen metsämaan tilavuuspainoja (esim. LÄHDE 1978). Keskimääräiset penetrometriset vastukset vaihtelivat löyhän hiedan 0.1 MPa:sta tiiviin hietamoreenin 3.2 MPa:iin vaihtelun ollessa ruukun sisällä huomattavan suurta. Päivittäisten punnitusten yhteydessä lisättiin ruukkuun haihtunut vesimäärä, joten maan kosteus oli hyvin tasainen. Veden osuus maan tilavuudesta vaihteli maaryhmittäin 26 ja 29 %:n välillä. Taimien kasvatuskorkeus vaihteli pF-määritysten mukaan pF 2:n ja pF 3:n välillä.

Tulokset osoittivat, että istutuksen jälkeen tiiviissä maassa kasvaneet taimet saivat vettä paremmin kuin löyhään maahan istutetut taimet. Tämä maan tiivistämisen istutusshokkia pienentävä vaikutus perustuu juuriston parempaan kontaktiin maahiukkasten kanssa. Taimien vedenotto kyky määräytyy istutuksen jälkeen ennen uusien ohutjuurien kasvua kokonaan sen perusteella, millainen on maa-juuri -"interface".

Tiiviissä maassa taimet elpivät istutusshokista kuitenkin hitaammin kuin löyhässä maassa. Ero oli selvempi hietamoreenissa kuin hiedassa. Löysässä hietamoreenissa kasvaneiden taimien haihdunta ylitti kasvukauden puolivälissä tiiviissä maassa kasvaneiden taimien haihdunnan. Sen sijaan löyhän hiedan taimien haihdunta oli vielä kokeen lopussa 13. elokuuta pienempi kuin tiiviin hiedan taimien haihdunta.

Haihdunnan kehityksessä havaitut erot

indikoivat juuriston kehityksessä olleita eroja, sillä haihdunnan elpymisen istutuksen jälkeen mahdollistaa vasta uusien ohutjuurien muodostuminen (TRANQUILLINI 1973, HAVRANEK 1975). Kokeen lopussa todettiin, että tiivistä maata sisältävissä ruukuissa juuret olivat kasvaneet heikosti ja levinneet ruukkuun epätasaisesti. Löyhissä maissa kasvaneet juuristot sen sijaan olivat tuuheat ja lisäksi ne olivat täyttäneet tasaisesti ruukun muodostaman kasvutilan.

Maan tiiviyttä kuvattiin sekä tilavuuspainolla että kartiopenetrometrillä mitatulla mekaanisella vastuksella. Käytetyt tiiviysasteet osuivat luonnossa esiintyvälle vaihtelualueelle, sillä tilavuuspainot saivat arvoja välillä 1.04–1.49 g cm⁻³ metsämaiden normaalin vaihtelualan ollessa 1.0–1.6 g cm⁻³ (TROEDSON ja NYKVIST 1973). Ilmatila oli löyhissä maissa optimissa eli 30 % ja tiiviissä maissa se oli hiukan alle optimin hietamoreenilla 18 % ja hiedalla 22 % (vrt. BUCKMAN ja BRADY 1969). Koska maan vesipotentiaali kasvatuskosteudessa vaihteli pF 2:n ja pF 3:n välillä, erot maan vesi- ja ilmatilassa eivät ilmeisesti olleet synnähä haihdunnan kehityksessä havaittuihin eroihin. Pääsyy juuriston heikkoon kasvuun tiiviissä maassa lienee ollut maan mekaaninen vastus. Tätä näkemystä tukevat mikroskooppiset havainnot, jotka paljastivat tiiviissä maassa kasvaneista juurista selvästi enemmän epämuodostumia kuin löyhissä maissa kasvaneista juurista. Tällaisia maan tiiviyyden aiheuttamia juurten epämuodostumia on käsitellyt mm. SUTTON (1969).

Tiiviiseen hietamoreeniin istutettujen taimien haihdunta alkoi vähentyä kuivuuden aikana suuremmissa vesipitoisuuksissa kuin löyhään hietamoreeniin istutettujen, mikä oli odotettavissa, sillä tiivistäminen lisää pienimpien huokosten osuutta huokostilasta, ja niistä kasvi ei pysty ottamaan vettä voimakkaiden kapillaarivoimien takia (esim. HILLEL 1971). Sen sijaan hiedassa, jossa oli enemmän karkeitä lajitteita, suhteellisen haihdunnan ja vesipitoisuuden välisessä regressiossa ei havaittu eroja tiiviysasteiden välillä.

Istutuksen jälkeen tapahtuneen pituuskasvun kokonaismäärässä ei säännönmukaisia eroja eri tiiviysasteiden välillä havaittu,

vaikka useissa tutkimuksissa on selkeästi osoitettu istutusshokin alentavan pituuskasvua (HAVRANEK 1975, PARVIAINEN 1979). Tulokset sensijaan viittaavat siihen, että istutusshokin voimistuminen vaikuttaa hidastavasti kasvurytmin etenemiseen. Ajoituserot olivat kuitenkin pienet, sillä kaikki ryhmät saavuttivat 90 % suhteellisen pituuden kahden päivän sisällä. Samoin istutusshokin mittalukuna käytetty kasvujakson keskimääräinen suhteellinen haihdunta vaihteli vain löyhän hiedan 0.32:sta tiiviin hietamoreenin 0.45:een. Tulos on kuitenkin samansuuntainen PARVIAISEN (1980) suuremman ja useita taimilajeja käsittäneen kokeen tulosten kanssa.

Taimien mukautuminen istutuspaikalle on monimutkainen biologinen tapahtumasarja, johon vaikuttavat sekä istutusta seuraavat sääolot että kasvupaikan olosuhteet. Kasvu-

paikkatekijöistä tärkeimpiin kuuluvat maan ominaisuudet, sillä ne määräävät millainen on juuri-maa -"interface". Tätä taimen mukautumisprosessia so. elintoimintojen elpymistä istutusshokista on tutkittu vähän, ja harvat julkaistut työt on tehty "ideaalisessa ympäristössä", jolloin istutusshokin ja kasvupaikan mahdollinen yhteisvaikutus on jäänyt pois tarkastelusta.

Käytännön kannalta luotettavia johtopäätöksiä ei pienen astiakokeen perusteella voi tehdä. Tulokset kuitenkin osoittavat, että maan tiiviys vaikuttaa sekä taimien vedensaantiin että juurtumiseen istutuksen jälkeen. Istutusmaan tulisi siten olla välittömästi juurten ympärillä tiivis, jotta taimi saisi riittävästi vettä heti istutuksen jälkeen, ja toisaalta sopivan kuohkeaa, jotta juurtuminen olisi mahdollisimman nopeata.

KIRJALLISUUTTA

- BUCKMAN, H. O. & BRADY, N. C. 1969. The nature and properties of soils. 7. ed. The Macmillan Company.
- GOSS, M. J. 1977. Effect of mechanical impedance on root growth in barley (*Hordeum vulgare* L.). I. Effects on the elongation and branching of seminal root axes. J. Exp. Bot. 28:96-111.
- HALLMAN, E., HARI, P., RÄSÄNEN, P. K. & SMOLANDER, H. 1978. The effect of planting shock on the transpiration, photosynthesis and height increment of Scots pine seedlings. Seloste: Istutusshokin vaikutus männyntaimien transpiraatioon, fotosynteesiin ja pituuskasvuun. Acta For. Fenn. 161:1-23.
- HARI, P. & LEIKOLA, M. 1974. Further development of the dynamic growth model of plant height growth. Flora 163:357-370.
- HARI, P., SMOLANDER, H. & LUUKKANEN, O. 1975. A field method for estimation of the potential evapotranspiration rate. J. Exp. Bot. 26:675-678.
- HAVRANEK, W. 1975. Wasserhaushalt und Zuwachs von Fichten nach Versetzung zu verschiedenen Jahreszeiten. Cbl. ges. Forstw. 92(1):9-25.
- HEINONEN, R. 1960. Das Volumgewicht als Kennzeichen der "normalen" Bodenstruktur. Seloste: Tilavuuspaino maan normaalin rakenteen tunnukseksi. Maataloustieteellinen aikakauskirja 32:81-87.
- HILLEL, D. 1971. Soil and water. Physical principles and processes. Academic Press. 288 s.
- KAUPPILA, A. & LÄHDE, E. 1975. Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. Summary: On the effect of soil treatments of forest soils properties in North Finland. Folia For. 230: 1-29.
- LEIKOLA, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil temperature conditions of forest regeneration areas in Northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 84(2):1-64.
- LÄHDE, E. 1974. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Seloste: Maan lajikoostumuksen vaikutus männyn luontaisen ja viljelytaimistöjen kuntoon. Commun. Inst. For. Fenn. 84(3):1-23.
- 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):1-59.
- 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 männyntaimien alkukehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 91(3):1-57.
- MÄLKÖNEN, E. 1972. Näkökohtia maan muokkauksesta. Summary: Some aspects considering soil cultivation. Folia Forestalia 137: 1-10.
- PARVIAINEN, J. 1979. Einfluss des Verpflanzens und des Wurzelschnittes auf den Tagesverlauf des Xylemwasserpotentials bei Fichtenpflanzen. Forstarchiv 50(7/8):148-153.
- PARVIAINEN, J. 1980. Zuwachs und Wurzelregeneration von zweijährigen unterschiedlich angezogenen Kieferplanzern nach dem Verpflanzen. Characterization of Plant Material. International Meeting of the IUFRO-subject Group S.1. 05-04. June 23-29, Freiburg i.Br. 1980.
- POHJONEN, V. & HARI, P. 1973. A dynamic model of crop growth rate of Italian ryegrass after cutting. Acta Agr. Scand. 23:121-126.
- POHTILA, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alojen metsänviljely Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 91(4):1-98.
- RITARI, A. & LÄHDE, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Commun. Inst. Fenn. 92(7):1-27.
- RUSSEL, R. S. 1977. Plant root systems. Their functions and interaction with the soil. Mc Graw-Hill. 297 s.
- SMOLANDER, H., HARI, P. & LUUKKANEN, O. 1975. Effect of water stress on transpiration in birch seedlings. Physiol. Plant. 35:107-110.
- SUTTON, R. F. 1969. Form and development of conifer root systems. Commonwealth Agricultural Bureau. 131 s.
- TAYLOR, H. R. & RATLIFF, L. F. 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. Soil Sci. 108: 113-119.
- TRANQUILLINI, W. 1973. Der Wasserhaushalt junger Forstpflanzen nach dem Versetzen und seine Beeinflussbarkeit. Cbl. ges. Forstwesen 90(1): 46-52.
- TROEDSON, T. & NYKVIST, N. 1973. Markklära och markvård. Almqvist & Wiksel. 401 s.
- WILSON, J. A., ROBARDS, A. W. & GOSS, M. J. 1977. Effects of mechanical impedance on root growth in barley, *Hordeum vulgare* L. II. Effects on cell development in seminal roots. J. Exp. Bot. 28: 1216-1227.

SUMMARY

EFFECT OF SOIL COMPACTION ON TRANSPIRATION AND HEIGHT INCREMENT OF PLANTED SCOTS PINE SEEDLINGS

The effect of soil compaction on transpiration and the height increment of Scots pine seedlings following planting out were investigated in a small-scale pot experiment. Compacted and loosley-packed fine sand and fine-sand moraine were used as the planting substrates. The compacted soils used corresponded to the normal type of soil to be found in the forest and the loosley-packed soils to the range of soil compaction values found in tilled forest soils. The effect of soil compaction on seedling transpiration during water stress was also studied in a separate experiment.

Seedlings planted in compact soil had a higher rate of

transpiration than those in loosley-packed soil. The recovery in transpiration, which started halfway through the growing season, was faster, however, in the seedlings planted in loosley-packed soil. Under conditions of water stress, the seedlings planted in compact fine-sand moraine started to reduce the transpiration rate at higher soil moisture values than those planted in loosley-packed soil. No corresponding difference was observed for fine sand. Compaction was not found to affect the overall height growth, but it did at certain times during the growing season.