



Esa Rautiainen



Eero Kubin

Esa Rautiainen ja Eero Kubin

Männyn paakkutaimien juuriston rakenne eri tavoin muokatussa metsämaassa Pohjois-Suomessa

Rautiainen, E. & Kubin, E. 1997. Männyn paakkutaimien juuriston rakenne eri tavoin muokatussa metsämaassa Pohjois-Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1/1997: 5–24.

Tutkimuksessa selvitettiin neljän eri taimilajin juuriston alkukehitystä muokkaamattomassa, äestetyssä ja auratussa maassa. Taimilajit olivat papereineen ja ilman paperia istutettu paperikennotaimi, Ecopot-taimi ja kuutiopaakkutaimi. Lisäksi tutkittiin maalajin vaikutusta juuriston kehitykseen sekä kennopaperin hajoamista.

Juuriston rakenne oli paras kuutiopaakkutaimissa ja epämuodostunein paperikennotaimissa, joissa paperi rajoitti erityisen paljon juuriston leveyskasvua. Paperin poistaminen ei lisännyt juuriston kokoa muokkaamattomassa maassa eikä vähentänyt versoltaan kookkaiden taimien juuriston epämuodostuneisuutta. Juuriston kiertyminen oli vähäistä kaikilla taimilajeilla.

Maan muokkaus lisäsi kennopaperin läpi kasvaneiden juurten lukumäärä. Kuukauden kuluttua istutuksesta auratun maan taimissa oli paperin läpäisseitä juuria kaksi kertaa enemmän kuin kuokkalaikutettujen alojen taimissa. Kahden vuoden kuluttua kennopaperin läpäisseitä juuria oli kuitenkin eniten äestyksessä. Hienoainesosuuden kasvu vähensi juurten läpikasvua selvimmin muokkaamattomassa maassa. Maan muokkaus lisäsi kaikkien taimilajien juuriston kokoa ja erityisesti juuriston syvyyskasvua. Paperikennotaimia lukuunottamatta äestys kaksinkertaisti ja auraus nelinkertaisti juuriston kennon rajalta mitatun leveyskasvun. Toisaalta kookkaat juuristot olivat epämuodostuneempia kuin pienet.

Asiasanat: maan muokkaus, paakkutaimet, juuristo, mänty

Kirjoittajien osoitteet: *Rautiainen*: Kvartsitie 4 B, FIN-90240 Oulu, *Kubin*: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, Kirkkosaarentie 7, FIN-91500 Muhos

Sähköposti: eero.kubin@metla.fi

Hyväksytty 21.1.1997

1 Johdanto

Ensimmäiset kokeilut laikutusta voimakkaammasta metsämaan muokkaamisesta tehtiin Suomessa jo 1950-luvulla, kun soiden ojituksessa käytetyllä auralla vaotettiin myös kivennäismaata (Huihari 1953, 1954). Varsinaisesti kangasmaiden auraus aloitettiin kuitenkin vasta vuonna 1964. Työtapa yleistyi niin, että 1970-luvun puoliväliin mennessä aurattua alaa oli jo noin 200 000 hehtaaria (Turtiainen ja Valtanen 1974). Kehitystä tuki käytännön metsäammattimiesten myönteinen suhtautuminen auraukseen (Autio 1965, Halonen 1965, Puukko 1965). Muokkaamattoman maan taimettuminen oli nimittäin usein jäänyt vajaaksi tai epäonnistunut, mikä on havaittu myös inventoinneissa (Kallio 1965, Yli-Vakkuri ym. 1969, Solin 1970, Etholén 1972, Norokorpi 1972, Oikarinen ja Norokorpi 1986, Oikarinen 1991). Muokkauksen arveltiin muuttavan kasvupaikkatekijöitä taimille edullisiksi. Tämän arvion ovat myös tutkimukset vahvistaneet oikeaksi (Mälkönen 1972, Leikola 1974, Kauppila ja Lähde 1975, Söderström 1975, 1976, Mälkönen 1976, Mutka ja Lähde 1977, Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981, Ritari 1988, Kubin ja Kempainen 1994). Pohjois-Suomessa metsäaurauksesta kehittyi pääasiallisina maanmuokausmenetelmä 1970- ja 1980-luvuilla. Tämä loi samalla edellytyksiä pienten paakkutaimien käyttöön metsänviljelyssä (Valtanen 1969).

Paakkutaimien käyttöä puolsivat paljasjuuristen taimien tuotantoon ja käsittelyyn liittyvät ongelmat (Takala 1969). Paljasjuurisia taimia korvaamaan kehitettiin aluksi turveruokkutaimi (Jiffypot ja Finn-pot) ja Nisulan rullataimi (Nisula 1966, Valtanen 1978). Vuonna 1967 otettiin käyttöön paperpot-taimi eli kennotaimi. Sen käyttö oli kuitenkin ongelmallista, sillä taimen juuret eivät kasvaneet riittävästi ulos paakusta (Valtanen 1969).

Paakunmuodostajana käytetty kennopaperi on hajonnut huonosti (Antola 1986, Seppälä 1986), mikä on rajoittanut juuriston luonnollista kehitystä ja aiheuttanut kiertymistä (Lähde ja Kinnunen 1974, Parviainen 1976, Valtanen 1977, 1978, Kinnunen ja Lemmetyinen 1980, Rautio 1982). Ongelma korostuu etenkin pohjoisissa oloissa, missä selluloosan hajoaminen on yleensäkin hidasta (Lähde 1972).

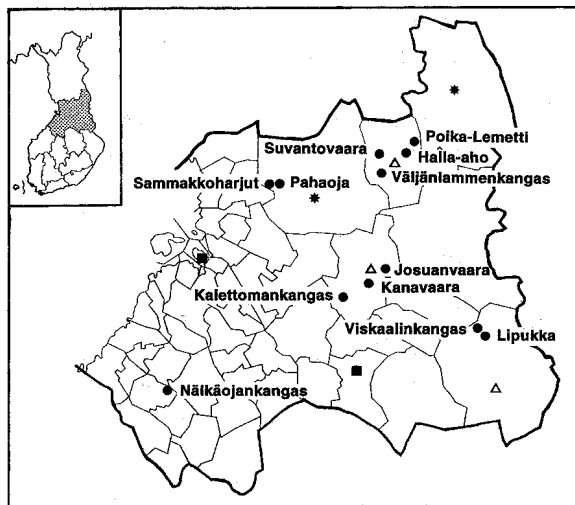
Juuriston rakennetta on kuitenkin jonkin verran pystytty parantamaan rei'ittämällä kennoa (Valtanen 1977) tai poistamalla kennopaperi paakun ympäriltä (Insley ja Patch 1980, Filipsson 1982). Kookkaiden taimien juuriston rakennetta on Suomessa tutkittu runsaasti (Paavonen 1977, Rautio 1982, Laurila 1983, Kinnunen ja Laurila 1983, Antola 1986, Parviainen ja Antola 1986, Rusanen 1986, Seppälä 1986), mutta juuriston alkukehityksestä on tutkimustietoa huomattavasti vähemmän (Parviainen 1976, Valtanen 1977, 1978, Kinnunen ja Lemmetyinen 1980). Myös muokkaustapojen vaikutukset eri taimilajien juuristoon on tunnettu huonosti. Tässä tutkimuksessa selvitettiin eri taimilajien juuriston rakennetta eri tavoin muokatussa metsämaassa. Eri-tyistä huomiota kiinnitettiin kennopaperin poistamisen vaikutukseen, paperin hajoamiseen sekä paperin läpäisseiden juurten lukumäärään.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Koekentät ja koejäsenet

Maalaji- ja kivisyysanalyysiin (Viro 1952, Elonen 1971) nojautuvan esitutkimuksen (Kubin 1986) perusteella valittiin 12 koekenttää (kuva 1). Ne olivat sekä hieno- että karkearakeisilla mailla ja lisäksi ilmastoiltaan erilaisilla alueilla. Kukin koekenttä perustettiin yleensä kolmena lohkona siten, että kunkin lohkon sisälle arvottiin maankäsittelykaistat ja niiden sisälle edelleen koejäsenet (kuva 2). Äestys ja palleauraus tehtiin vuonna 1986 ja kuokkalaikutus viljelyn yhteydessä keväällä 1987. Laikun koko oli noin 40 × 40 cm.

Tutkimusta varten kasvatettiin Metsähallituksen Nuojuan taimitarhalla yli 60 000 paakkutainta. Kuutiopaakkutaimet istutettiin pääosin isolla, muut kennotaimet pienellä pottiputkella. Kunkin koekentän ensimmäinen lohko viljeltiin taimilla, jotka oli kylvetty toukokuussa 1986. Toinen ja kolmas lohko viljeltiin kesäkuun 1986 kylvöerän taimilla. Puolangan kentille (Kalettomankangas, Josuanvaara ja Kanavaara) istutetut kuutiopaakkutaimet kasvatettiin viljelykeväänä muovihuoneessa ja lisäksi Sammakoharjuille kaikki taimilajit. Siemen oli alku-

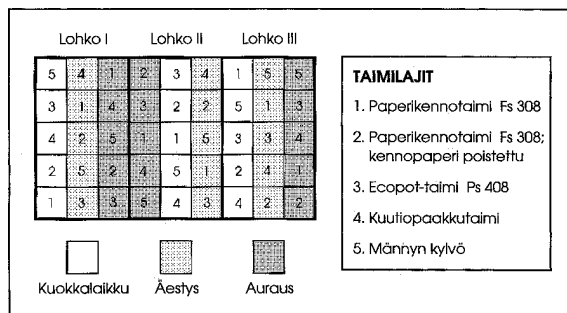


Kuva 1. Koekentät (●) sekä lähimmät Ilmatieteen laitoksen sää- (*) , ilmasto- (Δ) ja lentosääasemat (■). Kalletomankangas, Josuanvaara ja Kanavaara ovat Puolangan, Lipukka ja Viskaalinkangas Kuhmon, Pahaoja ja Sammakkoharjut Pudasjärven ja muut (Nälkäojankangasta lukuunottamatta) Taivalkosken koekenttiä.

perältä paikallista tai hieman pohjoisempaa (taulukko 1, s. 9). Näille paakkutaimi-istutuksille vertailuksi tehtiin männyn suunnattu hajakylvö muokattuun maahan (Wall 1993) sekä vakoruutukylvö kuokkalaikkuun.

Paperikennon valmistusaineena on käytetty luonnon- tai tekokuitua. Kenno on poikkileikkaukseltaan kuusisivuinen särmiö. Pystyasennossa vierekkäin toisiinsa liimatut kennot muodostavat kennonarkin eli kennoston. Kennon halkaisija on 3 cm ja korkeus 8 cm. Kennotaimesta, johon istutuksessa on jätetty kennopaperi, käytetään tässä työssä merkintää FS-308+ sekä nimitystä paperipäinen kennotaimi. Ilman kennopaperia istutetusta taimesta käytetään merkintää FS-308- sekä nimitystä paperiton kennotaimi.

Ecopot-taimen (PS-408) paakunmuodostaja on istutuksen yhteydessä poistettava polyeteenikalvon laminaatti. Ecopot-taimen kehittämistyö on jatkunut vielä kokeen jälkeenkin. Juuriston epänormaalia kasvua ja siitä johtuvia epämuodostumia on pyritty vähentämään kemikaaliraitojen avulla. Ko-



Kuva 2. Juuristotutkimuksen maanmuokkaustavat ja taimilajit, joista esimerkkinä Väljänlammenkankaan koekenttä. Ruudun koko on 20 × 20 m.

keessa käytetyn kennon halkaisija oli 4 cm ja korkeus 8 cm.

Kuutiopaakkutaimi on alkujaan Olavi Huurin (1969) esittämän idean pohjalta kehitetty tuote (Parviainen 1985). Kuutiopaakkumenetelmässä siemenet kylvetään määrävälein turvelevyyn, minkä jälkeen juurten kasvua ja tuuheutumista ohjataan leikkaamalla. Jotta leikkaaminen onnistuisi, siemenet on kylvettävä tarkasti 5 cm:n määrävälein. Turvelevystä leikataan 5 × 5 cm:n kokoisia paakkuja.

2.2 Juuriston rakennetta ja maan ominaisuuksia kuvaavat tunnuksat

Jokaiselle istuttaen perustetulle koeruudulle viljeltiin 150 tainta, joista 50 varattiin juuristotutkimuksia varten. Juuriston rakennetta tutkittiin kunkin koekentän ensimmäisen lohkon taimista ensimmäisen kerran kuukauden kuluttua istutuksesta (1987) ja toisen kerran kahden vuoden kuluttua istutuksesta. Ensimmäinen juuristonäyte otettiin eri tavoin muokatuilta aloilta Nälkäojankangasta lukuun ottamatta kaikilta koekentiltä. Toinen juuristotutkimus tehtiin joko kaikkien maanmuokkaustapojen (Kalletomankangas ja Väljänlammenkangas) tai ainoastaan äestetyin ja auratun maan taimille (Viskaalinkangas, Sammakkoharjut ja Suvantovaara). Molemmilla kerroilla nostettiin ruuduittain systemaattisesti 10 tainta. Toisen näyte-erän neljästä ensimmäisestä taimesta tutkittiin jäljempänä esitettävien juuristotunnusten ohella myös juuriston kokoa ja

haaroittuneisuutta. Kalettomankankaalla juuriston kokoa ei kuitenkaan mitattu. Istutusvuonna esiin kaivetut taimet merkittiin pysyvin merkkitikuin, ja ne jätettiin toisen näyte-erän ulkopuolelle.

Paperipäällisestä kennotaimesta kirjattiin seuraavat tunnukset:

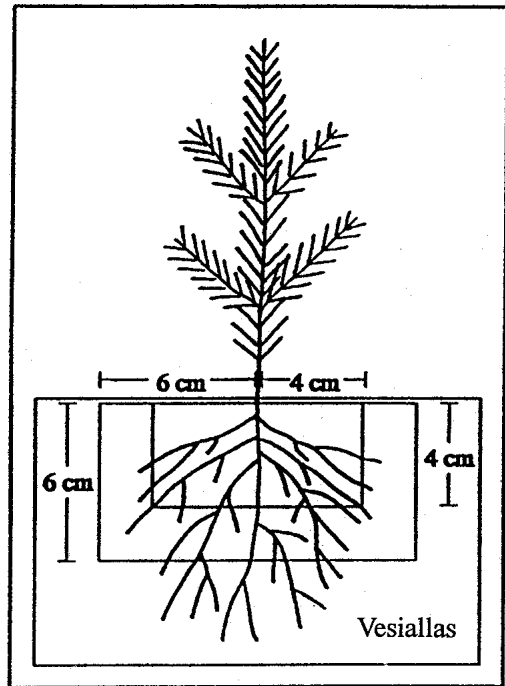
1. Kennopaperin läpäisseet elävät sivujuuret ja yksittäiset juurenkärjet.
2. Kennopaperin läpäisseissä elävissä juurissa esiintyvät juurenkärjet 5 luokkaan (0, 1–10, 11–20, 21–100 ja yli 100 kpl) ryhmiteltyinä. Kolmessa ensimmäisessä luokassa kaikki juurenkärjet laskettiin yksittäin. Kahden viimeisen luokan juurenkärkien määrä arvioitiin siten, että vain noin neljäsosa kärjistä laskettiin yksittäin.
3. Taimen elävät juurenkärjet. Luokitus kuten edellä. Tähän tunnukseseen sisältyivät myös kennopaperin läpi kasvaneiden sivujuurten juurenkärjet.
4. Taimen elävät sivujuuret pääjuuren tyveltä lähtien.
5. Verson kuntoluokka: A = hyvin kehittynyt – elinvoimainen, B = normaalikuntoinen – tyydyttävä-kuntoinen, C = heikkokuntoinen, E = kuollut.

Verson kuntoluokan arviointi oli silmämääräistä. Se perustui pääasiassa neulasten elinvoimaisuuteen, väriin ja pituuteen.

Muista taimilajeista (2–4, kuva 2) arvioitiin ensimmäisessä nostossa verson kuntoluokka sekä laskettiin taimen elävät juurenkärjet ja juuret.

Näytetäimi nostettiin yleensä lapiolla n. 30 × 30 × 25 cm:n kokoisessa maapaakussa. Paakun koko vaihteli viljelypaikan muokkaustavan, maalajin ja sen mukaan, otettiinko taimi juuriston koon ja haaroittuneisuuden laskentaan vai ei. Laskentaan otetut taimet nostettiin yleensä muita taimia suuremmissa maapaakuissa. Juurten katkeileminen taimen ylös kaivamisen yhteydessä arvioitiin kaikista taimilajeista seuraavasti:

1. Enintään kolme ($\varnothing > 0,5$ mm) sivujuurta katkesi sivujuuriston haaroittuneisuuden laskennassa käytetyn 6 × 12 cm:n kehikon (kuva 3) ulkopuolelta.
2. Kuten kohdassa 1, mutta lisäksi muutama juuri katkesi myös kehikon sisäpuolelta.
3. Juuria katkeili enemmän tai tainta ei saatu lainkaan nostetuksi kohtuullisessa ajassa.



Kuva 3. Kaavamainen esitys taimen juuristosta vesialtaaseen upotettuna. Juuriston haaroittuneisuus laskettiin kahden eri kokoisen veteen upotetun kehikon avulla.

Mikäli juurten katkeileminen arvioitiin luokan 1 tasoa suuremmaksi, taimi otettiin juuriston koon ja haaroittuneisuuden laskentaan vain poikkeustapauksessa.

Juuriston haaroittuminen (kuva 3) määriteltiin seuraavasti: taimen juuristo asetettiin kahden muovikalvolle kiinnitetyn kehikon (4 × 8 cm ja 6 × 12 cm) keskelle, minkä jälkeen juuristo upotettiin veteen siten, että veden pinta asettui 1 cm:n verran ylimmän juurenhaaran yläpuolelle. Laskenta tehtiin kummankin kehikon pohjan (syvyyssuuntaiset juuret) ja sivujen yli ulottuvista juurista.

Vesialtaassa juuriston leveys ja syvyys mitattiin niihin sivujuuriin asti, jotka olivat läpimitaltaan 0,5 mm. Mittaus tehtiin juuriston oikeanpuoleisesta osasta. Koska tuoreen juuripuun tiheys on lähellä veden tiheyttä, juuristo hakeutuu vesialtaassa likipitäen samaan asentoon, missä se on ollut maasakin (Leikola ja Raulo 1972).

Juuriston koon lisäksi tutkittiin juuriston luontaiselle kehitykselle vierasta epämuodostumista, de-

Taulukko 1. Koekenttien sijainti, topografinen korkeus (m mpy), lämpösumma (dd), lohkojen lukumäärä (lohkot), taimien kasvattamiseen käytetyn siemenen keräyspaikka (alkuperä) ja keruutunnus (tunnus).

| Sijainti | | m mpy | dd | Lohkot | Alkuperä | Tunnus |
|-------------|--------------------|-------|------|--------|-------------|-----------|
| Kuhmo | Lipukka | 200 | 936 | 3 | Puolanka | M24-71-17 |
| | Viskaalinkangas | 200 | 928 | 3 | Puolanka | M24-71-17 |
| Pudasjärvi | Pahaoja | 100 | 972 | 2 | Puhos | M24-69-2 |
| | Sammakkoharjut | 100 | 972 | 2 | Puhos | M24-69-2 |
| Puolanka | Josuanvaara | 250 | 903 | 3 | Puolanka | M24-71-17 |
| | Kalettomankangas | 170 | 966 | 4 | Puolanka | M24-71-17 |
| | Kanavaara | 250 | 920 | 3 | Puolanka | M24-71-17 |
| Taivalkoski | Halla-aho | 230 | 866 | 3 | Taivalkoski | M24-72-24 |
| | Poika-Lemetti | 230 | 866 | 2 | Taivalkoski | M24-72-24 |
| | Suvantovaara | 290 | 822 | 3 | Taivalkoski | M24-72-24 |
| | Väljänlammenkangas | 230 | 866 | 3 | Taivalkoski | M24-72-24 |
| Ylivieska | Nälkäojankangas | 100 | 1103 | 2 | Kestilä | M24-69-9 |

formaatiota. Tässä työssä epämuodostumisena pidettiin primääristen sivujuurien suuntautumista kennon rajalta jyrkästi alaspäin sekä niiden kiertymistä. Vastaavasti deformaatioprosentilla tarkoitetaan kennon rajalta jyrkästi alaspäin suuntautuneiden primääristen sivujuurien prosenttiosuutta kaikista taimien ensimmäisenä kehittyneistä sivujuurista.

Juuriston deformaatiota tutkittiin kaikkiaan 609:stä taimesta. Kustakin taimilajista laskettiin paakun rajalta alaspäin suuntautuneiden jyrkkämutkaisten (vähintään 70°) ja läpimitaltaan yli 0,5 mm paksujen primääristen sivujuurien lukumäärä sekä taimilajeittainen deformaatioprosentti. Samalla laskettiin läpimitan täyttävien sivujuurten sekä alle 90° ja yli 90° kiertävien sivujuurten lukumäärä.

Maaperätunnusten ja deformaation välisen riippuvuuden selvittämiseksi nostettiin syksyllä 1989 erillinen 290 istutustaimen aineisto Halla-ahosta, Sammakoharjuilta, Suvantovaarasta ja Väljänlammenkankaalta (taulukko 1). Aineiston juuristot luokiteltiin deformaatioasteen mukaan seuraaviin kolmeen luokkaan:

1. Normaali juuristo, jossa vain alle 1/3:ssa primääristä sivujuurista on paakunmuodostajasta aiheutuneita epämuodostumia.
2. Epämuodostunut juuristo, jossa primääristä sivujuurista 1/3–2/3:ssa on paakunmuodostajasta aiheutuneita epämuodostumia.

3. Pahoin epämuodostunut juuristo, jossa primääristä sivujuurista yli 2/3:ssa on paakunmuodostajasta aiheutuneita epämuodostumia.

Syksyllä 1989 nostetusta erillisestä aineistosta punnittiin myös juuriston ja verson kuivapaino (1 vrk / 105°C) sekä mitattiin rangan paksuus vastakkaisilta puolilta 10 mm ylimmän juurehaaran yläpuolelta. Lisäksi laskettiin yhteen vuosien 1988 ja 1989 verson pituuskasvu.

Paperikennotaimen paakunmuodostajana käytetyn paperin hajoamista tutkittiin erillisellä hajoamistestillä. Kunkin koekentän ensimmäisen lohkon paperikennotaimilla viljellyille ruuduille asetettiin keväällä 1987 4 cm:n syvyyteen 10 kennonpaperiliuskaa, jotka nostettiin 4 kuukauden maasaolon jälkeen. Hajoamisaste määritettiin painon vähentymisen perusteella. Kaikkiaan maahan asetettiin 390 liuskaa.

Maalajin ja maan fysikaalisten ominaisuuksien vaikutusta hieno- ja karkearakeisilla mailla eri juuristotunnuksiin tutkittiin Halla-ahon, Väljänlammenkankaan ja Kalettomankankaan koekentillä (kuva 1). Maalaji määritettiin Muhoksen tutkimus- asemalla seulonta- ja sedimentaatiomenetelmää käyttäen (Attenberg 1912, Aaltonen ym. 1949, Elonen 1971) ruutu- ja lohko-kohtaisista kokoomanäytteistä (taulukko 2). Osanäytteet kerättiin koeruiduittain 10–20 cm:n syvyydestä viidestä eri pis-

Taulukko 2. Maalaji sekä eri lajitteiden ja prosenttiosuudet eri koekentillä. Maalaji on määritetty lohko- (A) ja ruutukohtaisesti (B). Hienoaines on raekokoa 0,06 mm hienomman aineksen osuus.

| Koekenttä | Maalaji | Savi | Hiesu | Hieta | Hiekka | Sora | Hienoaines |
|--------------------------|------------|------|-------|-------|--------|------|------------|
| Ryhmä A | | | | | | | |
| Lipukka | HkHtMr | 0,5 | 9,0 | 43,5 | 32,9 | 14,1 | 27,5 |
| Viskaalinkangas | HkHtMr | 0,3 | 13,2 | 39,5 | 32,2 | 14,8 | 32,6 |
| Pahaoja | HtHk | 0,4 | 3,0 | 41,6 | 50,6 | 4,4 | 9,4 |
| Sammakkoharjut | HtHkMr | 0,5 | 6,0 | 40,5 | 39,6 | 13,4 | 15,4 |
| Josuanvaara | HtMr | 1,1 | 11,3 | 29,0 | 29,5 | 14,5 | 20,6 |
| Kanavaara | HtMr | 0,5 | 11,7 | 64,3 | 16,4 | 7,1 | 41,8 |
| Suvantovaara | HkHtMr | 1,4 | 9,3 | 40,3 | 41,3 | 7,7 | 26,7 |
| Poika-Lemetti | HsHt | 7,0 | 42,3 | 28,7 | 17,1 | 4,9 | 62,9 |
| Ryhmä B | | | | | | | |
| Kalettomankangas (486) | HkMr | 1,0 | 3,1 | 14,1 | 70,7 | 12,0 | 9,0 |
| Kalettomankangas (540/3) | HkMr | 1,1 | 3,9 | 13,6 | 66,3 | 15,2 | 10,4 |
| Väljänlammenkangas | Ht, HkHt | 1,0 | 4,0 | 66,4 | 26,4 | 1,0 | 13,4 |
| Kalettomankangas (540/2) | Ht, HkHt | 2,3 | 21,6 | 48,0 | 26,3 | 1,9 | 47,2 |
| Kalettomankangas (540/1) | Ht | 3,0 | 21,4 | 60,5 | 13,6 | 1,6 | 44,8 |
| Halla-aho | HtHs, SaHs | 11,3 | 56,0 | 28,7 | 3,5 | 0,5 | 85,7 |

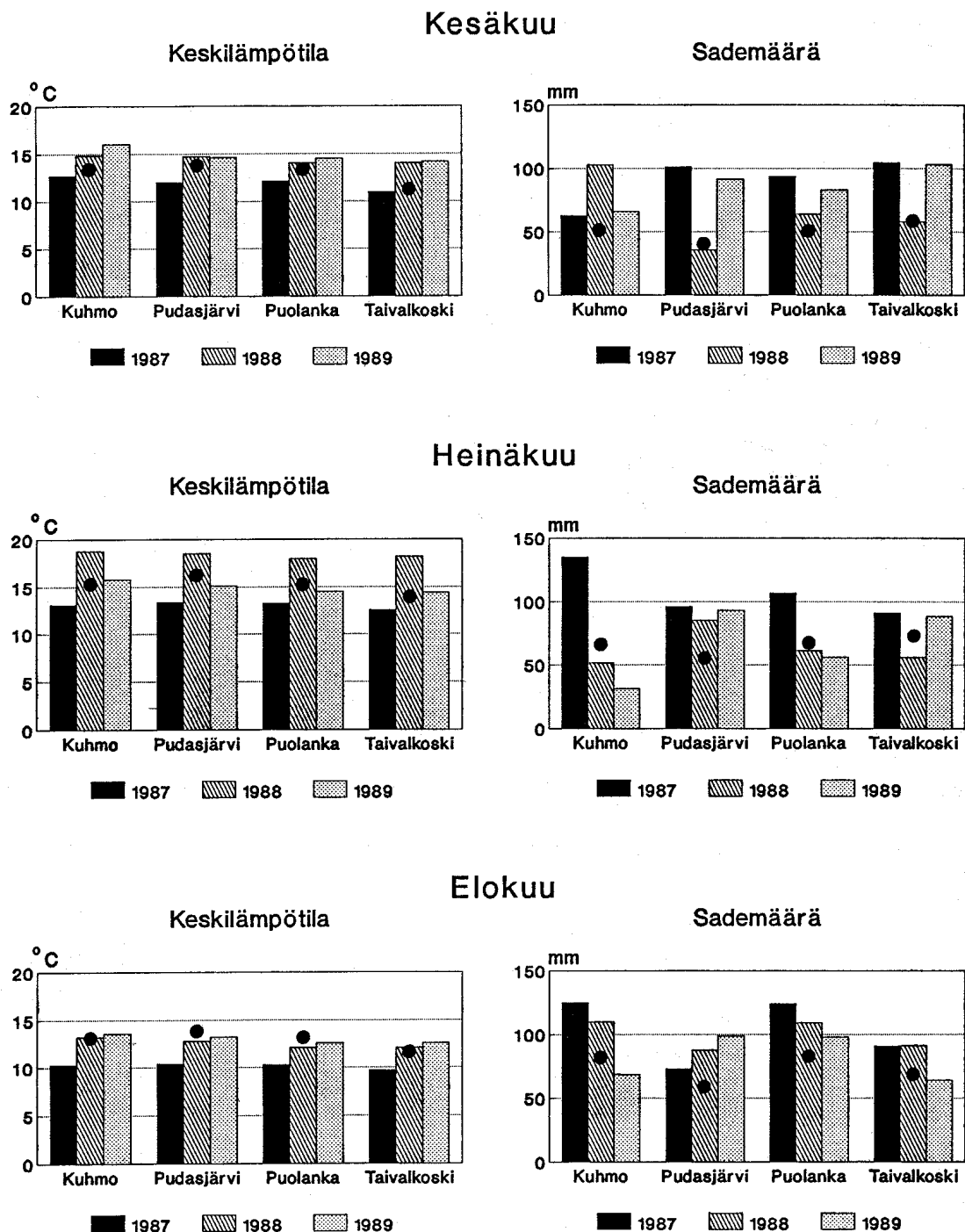
teestä. Muokkaamattomalta alalta otettiin 30 sekä auratusta ja äestetyistä maasta molemmista 31 ruutukohtaista näytettä. Maalajia lohkokohtaisesti määritettäessä otettiin ensimmäisestä lohkoista kahdeksan osanäytettä. Maan lajitekoostumuksen lisäksi mitattiin Kalettomankankaalta, Väljänlammenkankaalta ja Halla-ahosta myös maan veden- ja ilmanläpäisevyys (Rautiainen 1992).

Tulokset on esitetty sekä keskiarvolukuina että tilastollisin testein analysoituina. Jakauman normalisuus selvitettiin jakaumakuvien sekä vinous- ja huipukkuuslukujen avulla ja varianssien yhtäsuuruudet Levenen testiä käyttäen. Normaalisti jakauneen aineiston kohdalla käytettiin joko varianssianalyysiä tai Bonferronin T-testiä. Luokkien väliset erot selvitettiin pienimmän neliösumman menetelmällä lasketuista keskiarvojen välisistä eroista ja keskivirheestä. Tilastolliset testien merkitsevyydet on esitetty seuraavasti: * = ero merkitsevä < 5 %:n riskitasolla, ** = ero merkitsevä < 1 %:n riskitasolla ja *** = ero merkitsevä < 0,1 %:n riskitasolla.

2.3 Tutkimusjakson keskilämpötila ja sademäärä

Vuoden 1986 marras- ja joulukuun sekä vuoden 1987 tammikuun keskilämpötilat olivat Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa huomattavasti normaalia alhaisemmat. Talvi 1987 oli helmikuun alkuun asti varsin vähäluminen (Heino ja Hellsten 1983, Ilmastohavainnot 1987, 1988, 1989). Ohuesta lumipeitteestä johtuen maa routaantui varsin syväälle ja suli hitaasti (Kubin 1990). Keväällä 1987 viljely jouduttiin tekemään varsinkin kuokkalaikutetulla alalla kylmään maahan.

Kesä 1987 oli normaalia sateisempi ja kylmempi (kuva 4). Vuoden 1988 kesäkuun loppu ja heinäkuu olivat keskimääräistä lämpimämpiä ja Pudasjärveä lukuun ottamatta myös keskimääräistä vähäsateisempia. Elokuu oli kuitenkin jo melko runsassateinen. Kesä 1989 oli lämpöoloiltaan normaali, vaikkakin Pudasjärvellä ja kesäkuussa myös Taivalkoskella normaalia runsassateisempi (kuva 4).



Kuva 4. Vuosien 1987–89 keskilämpötilat ja sademäärät eri koekenttiä lähinnä olevilla Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemilla. Pitkän ajan (1961–80) keskilämpötilat ja sademäärät (●) on mitattu Kajaanissa (Puolangan ja Kuhmon koekentät), Oulussa (Pudasjärven koekentät) ja Kuusamossa (Taivalkosken koekentät).

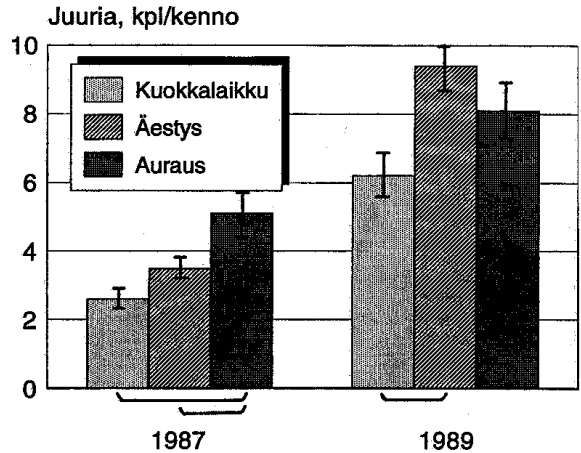
3 Tulokset

3.1 Kennopaperin läpäisseet juuret

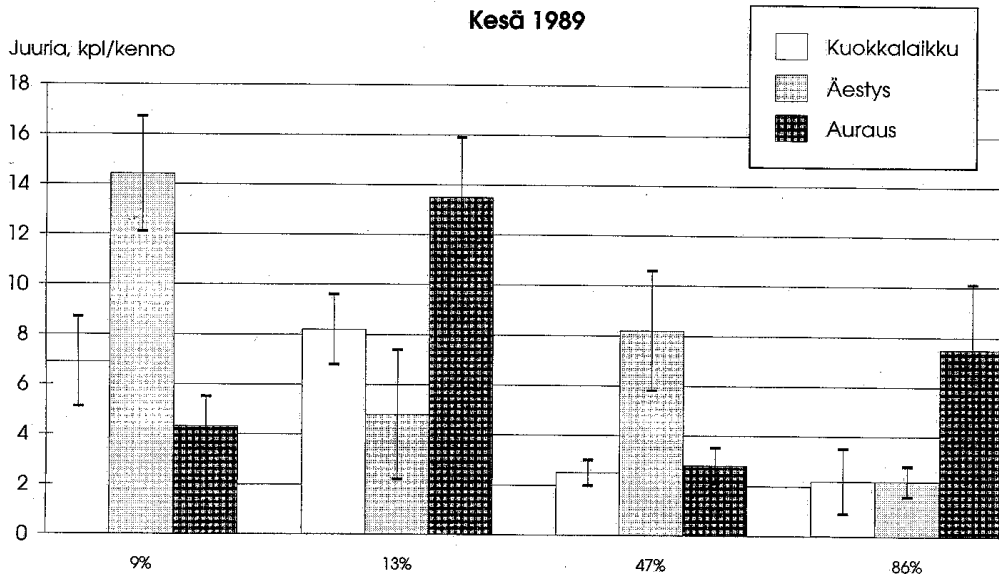
Kuukauden kuluttua istutuksesta kennopaperin läpäisseitä juuria oli muokatun maan taimissa enemmän kuin muokkaamattoman maan taimissa (kuva 5). Auratun maan taimissa paperin läpäisseitä juuria oli kaksi kertaa enemmän kuin kuokkalaikutettujen alojen taimissa. Kun istutuksesta oli kulunut kaksi vuotta, paperin läpäisseiden juurten lukumäärä oli kasvanut kaikkien muokkaustapojen taimissa. Auratuilla mailla lisäys oli 1,5-kertainen ja muilla tavoin käsitellyillä mailla yli kaksinkertainen.

Maan hienoainesosuudella oli vaikutusta kennon läpi kasvaneiden juurten lukumäärään (kuva 6). Karkeilla mailla kennopaperin läpi kasvoi enemmän juuria kuin hienoilla. Muokkauksen vaikutus vaihteli. Hienoainesosuuden suureneminen vähensi juurten läpikasvua kaikkein selvimmin muokkaamattomassa maassa. Muokkaamattomassa maassa paperin läpi kasvaneissa juurissa oli myös vähiten eläviä juurenkärkiä (taulukko 3).

Palteeseen istutettujen kennotaimien juuret läpäisivät paperin huonommin kuin äestetyillä mailla kasvaneiden taimien juuret, kun aikaa istutuksesta oli kulunut kaksi vuotta (kuva 5). Tämä selittyi osaksi paperin huonolla hajoamisella (kuva 7). Yleensä paperi hajosi auratussa maassa (23,8 %) heikemmin kuin äestetyssä maassa (28,9 %) tai muokkaamattomassa maassa (35,2 %), mutta maan muokkauksella ei kuitenkaan ollut tilastollisesti



Kuva 5. Kennopaperin läpäisseet elävät juuret muokkaustavoittain kuukauden kuluttua istutuksesta (1987) ja kaksi vuotta myöhemmin (1989). Janalla on ilmaistu keskiarvon keskivirhe ja hakasilla yhdistetty ne käsitteilyt, joiden välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä.



Kuva 6. Maan hienoainesosuuden vaikutus paperikennotaimen kennon läpi kasvaneiden elävien juurten lukumäärään kahden vuoden kuluttua istutuksesta.

merkitsevää vaikutusta paperin hajoamisessa. Hajoamiseen vaikutti myös maalaji. Hajoaminen oli vähäisintä, kun maan hienoainesosuus oli pieni ja maalaji oli hiekkaa. Kun maalaji oli hietaa, moreenia tai hiesua, hajoaminen oli nopeampaa.

3.2 Sivujuuriston kasvu eri taimilajeilla

Kennon sisäpinnan myötäinen juuriston kääntymisen vaihteli taimilajin ja muokkaustavan mukaan (kuva 8). Papereineen istutetun taimen juuristo oli

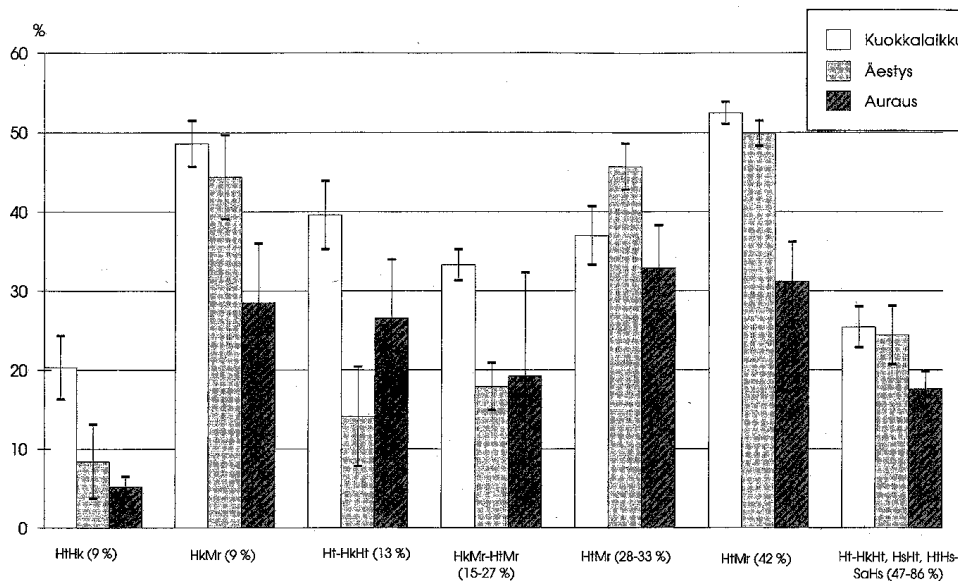
Taulukko 3. Kennopaperin läpäisseiden juurten eläviin juurenkärkien osuudet (%) eri juurenkärkiluokissa kahden vuoden kuluttua istutuksesta eri maanmuokkuksilta nostetuissa taimissa.

| Juurenkärkiä, kpl | Kuokkalaikku, % | Äestys, % | Auraus, % |
|-------------------|-----------------|-----------|-----------|
| 0 | 27,5 | 12,7 | 21,4 |
| 1–10 | 25,0 | 12,7 | 8,6 |
| 11–20 | 15,0 | 20,6 | 14,3 |
| 21–100 | 32,5 | 46,0 | 40,0 |
| yli 100 | 0,0 | 8,0 | 15,7 |

sitä epämuodostuneempi, mitä voimakkaampi maanmuokkaus oli. Myös muiden taimilajien juuristo oli vähiten epämuodostunut kuokkalaikutetuilla aloilla, mutta äestysten ja aurauksen vaikutusten väliset erot olivat tässä vähäiset. Toisaalta kuutiopaakkutaimien juuristo oli kaikkein vähiten epämuodostunut. Muokkaustapojen välinen testi kaikki taimilajit yhdistetystä aineistosta vahvisti sen, että kuokkalaikkuun istutettujen taimien juuristo oli vähiten epämuodostunut.

Paakunmuodostajan jyrkästi alaspäin suuntaaman sivujuuriston lisäksi tutkittiin erikseen vielä juuriston kiertymistä. Koko aineistossa paakun kehästä kehää pitkin alle neljänneksen kiertyneitä juuria oli kuokkalaikutetussa maassa 6 %, äestetyssä maassa 15 % ja auratussa maassa 16 % kaikista primäärisistä sivujuurista ($F = 9,3^{***}$). Muokkaamattoman maan ja muokatun maan ero oli tältä kannalta myös tilastollisesti merkitsevää.

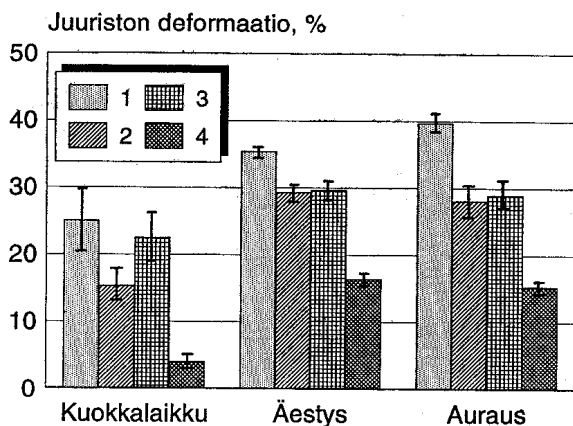
Juuriston kiertyminen vaihteli myös taimilajeittain. Paakunmuodostajan kehää pitkin alle neljäsosan kiertyneitä sivujuuria oli Ecopot-taimissa 17 %, paperilla istutetuissa kennotaimissa 16 %, paperipäällisissä kennotaimissa 14 % ja kuutiopaakkutaimissa 9 % kaikista ensimmäisenä syntyneistä sivujuurista ($F = 8,2^{***}$). Kuutiopaakkutaimien ero



Kuva 7. Kennopaperin hajoaminen (% alkupainosta) neljän kuukauden testijakson aikana hienoainesosuudeltaan ja maalajiltaan erilaisilla mailla. Janalla on ilmaistu keskiarvon keski-
virhe.

muihin taimilajeihin oli tässä myös tilastollisesti merkitsevä. Kehää pitkin yli neljäsosan kiertyneitä juuria oli taimilajista riippuen vain 1–5 %. Tällaisia juuria oli eniten Ecopot-taimissa sekä paperipäällisissä kennotaimissa ja vähiten kuutiopaakkutaimissa. Kummankin kiertymisasteen taimissa paakkukohtainen juurien määrä oli kuitenkin vähäinen: se vaihteli keskimäärin yhdestä (kuutiopaakkutaimi) kolmeen (paperiton kennotaimi). Primääristen sivujuurten lukumäärä taimea kohti oli taimilajista riippuen 11–12.

Maalajin vaikutus sekä deformaatioon että kiertymiseen vaihteli. Yleensä maan tiiviys ja saviaineksen osuuden kasvu lisäsivät deformaatiota. Juuristoltaan parhaimmat taimet (deformoituneiden juurten osuus 14 %) kasvoivat Kalettomankankaan löyhärakenteisella hietta- ja moreenimaalla, missä hienoainesosuuksien väliset erot olivat kuitenkin suuret. Toinen tästä maalajiryhmästä tilastollisesti eroava ryhmä oli hietamaan (27 %) sekä hiesuisen ja tiivisrakenteisen moreenimaan taimet (31–34 %). Tässä ryhmässä hienoaineksen osuus vaihteli hyvin väljästi. Maalajin vaikutus yksittäisen taimilajin juuriston rakenteeseen ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä samalla tavoin muokatussa maassa. Erillinen aineisto (taulukko 4) tuki yksityiskohtaisen deformaatio selvityksen tulosta juurten kääntymisen osalta.



Kuva 8. Paakunmuodostajan kohdalta alaspäin suuntautuneiden primääristen sivujuurien osuus kaikista ensimmäisenä kasvaneista sivujuurista eri taimilajeilla. 1 = Fs-308+, 2 = Fs-308-, 3 = Ps-408 ja 4 = kuutiopaakku.

Juuristoltaan kaikkein painavimmat taimet kasvoivat palleauratuilla aloilla ja keveimmät äestetyillä ja kuokkalaikutetuilla aloilla (taulukko 4). Maanmuokkaustapojen väliset erot olivat myös tilastollisesti merkitseviä. Eroja oli myös deformaatioluokiltaan erilaisten tainten juuriston painossa: pahoin epämuodostuneet ja epämuodostuneet juuristot painoivat selvästi normaaleiksi luokiteltuja juuristoja enemmän.

Haaroittuneisuuslaskenta osoitti juuristojen suuntautuvan lähes yksinomaan syvyysuuntaan. Mittauskehikon (kuva 3) pohjan yli ulottuvia juuria oli keskimäärin 24 ja seinien yli ulottuvia 3. Kummassakin syvyysuuntaisessa laskennassa oli sekä muokkaustapa- että koekenttäkohtaisia eroja. Taimet, joissa oli harsuin juuristo, kasvoivat kuokkalaikussa ja äestetyssä maassa, tiheäjuuristoisimmat auratussa maassa (taulukko 5). Palleauratussa maassa kasvaneiden taimien ero kuokkalaikussa kasva-

Taulukko 4. Juuriston biomassa (mg) eri deformaatioluokissa ja eri maanmuokkauksilta nostetuilla taimilla. Viivoilla on yhdistetty ne maankäsittelytavat ja deformaatioluokat, joiden logaritmimuunnellut keskiarvot erosivat t-testissä 5 %:n riskitasolla. n = tutkittujen taimien lukumäärä, \bar{x} = keskiarvo.

| Tunnus | Normaali | Epämuod. | Pahoin epämuod. | Auras | Äestys | Kuokkalaikku |
|-----------|----------|----------|-----------------|-------|--------|--------------|
| \bar{x} | 1190 | 2187 | 2462 | 2487 | 1800 | 849 |
| n | 113 | 43 | 49 | 57 | 86 | 62 |
| t-testi | _____ | | _____ | | _____ | |

Taulukko 5. Syvyysuuntaan suuntautuneiden juurten lukumäärä kuokkalaikussa, äestyksessä ja auratussa maassa kasvaneilla taimilla kahdessa vesialtaan vyöhykkeessä. n = tutkittujen taimien lukumäärä. Pystyviivoin on yhdistetty ne käsittelyt, joiden keskiarvot erosivat t-testissä 5 %:n riskitasolla.

| Maanmuokkaustapa | Vyöhyke 6 cm | | Vyöhyke 4 cm | |
|------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | n | \bar{x} | n | \bar{x} |
| Kuokkalaikku | 16 | 16,4 | 14 | 19,5 |
| Äestys | 27 | 22,9 | 27 | 23,7 |
| Auras | 28 | 27,4 | 20 | 30,3 |

neisiin oli uloimman kehikon mukaisessa laskennassa lähes kaksinkertainen. Muokkaustapojen vaikutuserot olivat tilastollisesti merkitsevät sekä uloimman ($F = 12,6^{***}$) että sisemmän kehikon ($F = 5,5^{**}$) mukaisessa juuristolaskennassa, mutta viimeksi mainitussa ainoastaan palleanauratus maassa kasvaneet taimet erosivat tilastollisesti muilla tavoilla käsiteltyjen alojen taimista.

Kummankin kehikon mukaisissa pohjan yli ulottuvien juurten laskennoissa vähiten juuria tavattiin Kalettomankankaan muutoinkin pienikokoisissa ja vähän juuristoltaan epämuodostuneissa taimissa. Näiden ero muiden koekenttien taimiin oli myös tilastollisesti merkitsevä sekä uloimman ($F = 15,3^{***}$) että sisemmän kehikon ($F = 8,5^{***}$) mukaisessa laskennassa. Eri taimilajien juuriston haaroittuminen oli samaa luokkaa kummankin mittauskehikon mukaisissa pohjan yli ulottuvien juurten laskennoissa, eivätkä eri taimilajit myöskään eronneet tässä tilastollisesti.

3.3 Juurenkärkien lukumäärä

Maalajilla oli muokkaustapaa voimakkaampi vaikutus juurenkärkien lukumäärään jo istutuskesänä (kuva 9). Sellaisia taimia, joissa oli yli 100 juurenkärkeä, oli eniten hiesumaalla, ja juurenkärkien määrän suurimmassa luokassa hiesumaalla kasvanneiden taimien ero hieta- ja hiekkamoreenimaan taimiin oli selvä. Kahden vuoden kuluttua istutuksesta juurenkärkiä oli edelleen eniten hiesumaan taimissa, vaikka toisaalta maan saviaineksen runsas osuus lisäsi juuriston deformaatiota. Eri taimilajit eivät eronneet tilastollisesti.

3.4 Juuriston koko

Maan muokkaus lisäsi kaikkien tutkittujen taimilajien juuriston kokoa (kuva 10) ja erityisesti juuriston syvyyden kasvua. Kaikkein syvin juuristo oli auratun maan taimissa. Eri taimilajien juuriston syvyydessä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitseviä eroja millään tavoin muokatuilla aloilla.

Juuristot kasvoivat auratus maassa myös leveimmäksi. Juuriston leveyden suhteen eri taimilajit poikkesivat toisistaan. Eniten eroja oli 4–8

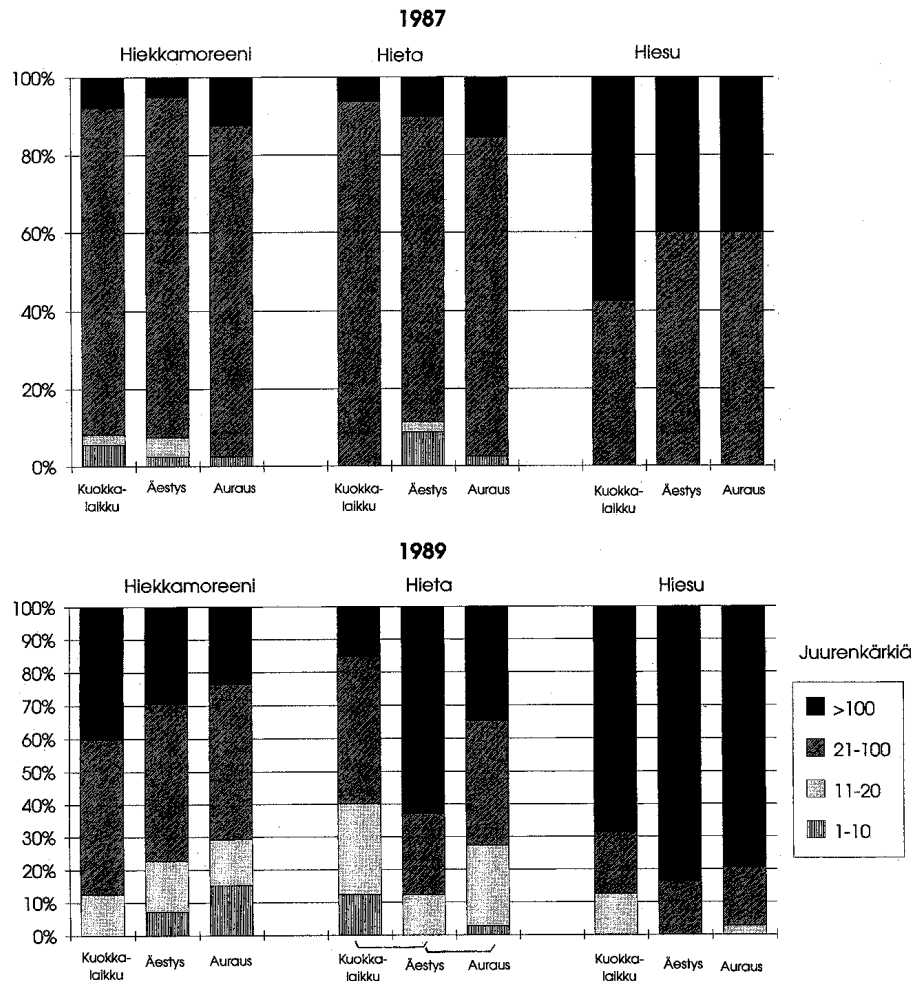
cm:n syvyydessä. Äestetyssä ja auratus maassa kuutiopaakkutaimen juuristo oli muita leveämpi, mutta kuokkalaikutusaloiilla ecopotaimen juuristo oli keskimäärin levein.

Paperittoman kennotaimen ja Ecopot-taimen kohdalla auratun maan taimien juuriston kasvu oli kaksinkertainen (keskimäärin yli 2 cm) verrattuna kuokkalaikutetun tai äestetyn maan taimien juuriston kasvuun. Kuutiopaakkutaimen juuriston leveyskasvu oli kuitenkin kaikilla tavoilla muokatuilla aloilla paperitta istutettujen kennotaimien kaltainen.

3.5 Juuri/verso-suhde

Verson pituuskasvun ja rangan paksuuden suhteen taimet kasvoivat kaikkein kookkaimmiksi äestetyssä ja auratus maassa ja jäivät pienimmiksi kuokkalaikutetuilla aloilla. Erot olivat myös tilastollisesti merkitsevät (taulukko 6). Verson pituuskasvu ($F = 6,9^{**}$) ja rangan paksuus ($F = 4,5^{*}$) erosivat myös tilastollisesti eri tavoin juuristoltaan deformaatioilla taimilla. Niihin kahteen deformaatioluokkaan, joissa juuristot olivat epämuodostuneimpia, kuuluvien taimien kasvu ja rangan paksuus olivat selvästi suuremmat kuin normaalijuuristoisten taimien kasvu ja rangan paksuus. Maalajin vaikutus jäi vähäiseksi, sillä samaan deformaatioluokkaan kuuluvien taimien kasvu ja ranka eivät eronneet tilastollisesti kun tarkastelun kohteena oli samanlaisen muokkaustavan taimiaineisto.

Kuokkalaikutetuilla aloilla juuriston kuivapainon suhde verson kuivapainoon (juuri/verso-suhde) oli hieman suurempi kuin muilla tavoin muokatuilla aloilla. Eri taimilajeista paperipäällisen kennotaimen juuristo painoi suhteessa versoon eniten, paperittoman kennotaimen vähiten. Kun tässä verrataan runsaasti hienoainesta sisältävää hiesumaata muunlaisiin aloihin, niin hiesumaalla juuristo painoi suhteessa versoon eniten. Tilastollisesti merkitseviä eroja ei tässä kuitenkaan havaittu, kuten ei myöskään eri maanmuokkaustapojen ja eri taimilajien välillä.



Kuva 9. Taimien jakautuminen eri juurenkärkiluokkiin Kalettomankankaalla ja Hallaahossa istutuskesänä (1987) ja kaksi vuotta myöhemmin (1989) eri maanmuokkauksissa. Hakasilla on yhdistetty ne maankäsittelyt, joissa kolmen alimman kärkiluokan välinen ero ylimpään kärkiluokkaan verrattuna oli tilastollisesti merkitsevä.

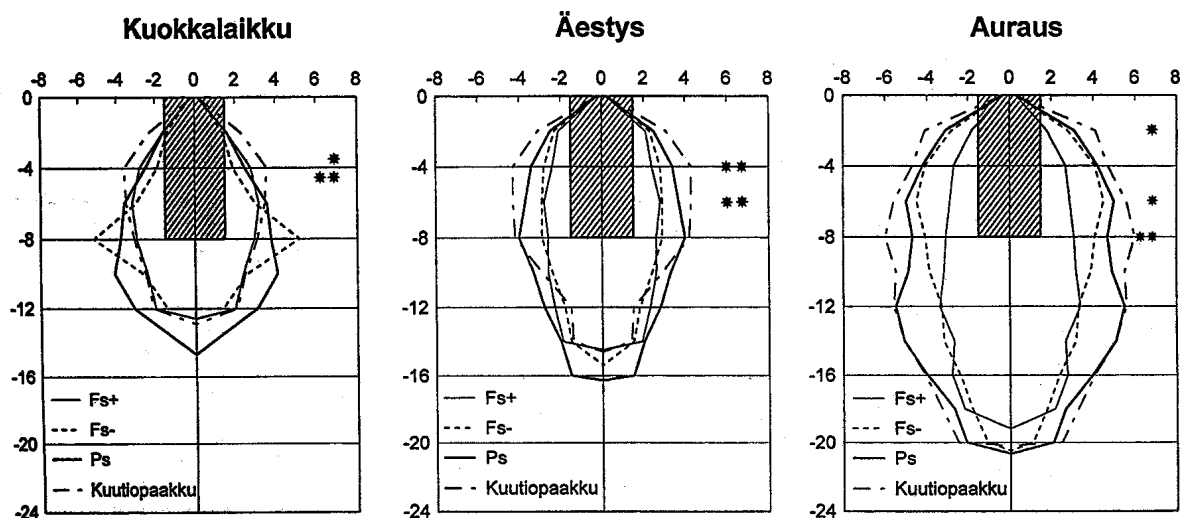
4 Tulosten tarkastelu

Paperi (FS-308) hajosi huonosti erityisesti auratussa maassa. Tätä tulosta tuki myös juuristotutkimusta varten istutettujen kennotaimien paperin hajoaminen. Tulos oli yllättävä, sillä palteiden pintamaa on yleensä lämmintä (esim. Mälkönen 1972, Leikola 1974, Kubin ja Kemppainen 1994) ja siinä on runsaasti mikrobeja (Voss-Lagerlund 1976, Palmgren

1984). Palteiden vedenläpäisevyys oli myös hyvä (Rautiainen 1992). Huono hajoaminen johtui ilmeisesti palteen pinnan kuivumisherkkydestä; palteen pinta kuivuu sateisinakin kesinä nopeasti (Mannerkoski ja Möttönen 1990). Muita ilmeisiä syitä ovat paperin kuivumisalttius, palteen pinnan vähähumisuus (Antola 1986) ja fysikaaliset olosuhteet, jotka eivät suosi nopeaa hajoamista (Kauppila ja Lähde 1975, Seppälä 1986). Bakteerien hajotustoimintakin on usein pysähdyksissä keskikesän kuivien jaksojen

Taulukko 6. Rangan paksuus ja verson kahden viimeisen vuoden pituuskasvu (TUNNUS 1) eri deformaatioluokissa ja eri maanmuokkauksilta nostetuilla taimilla. Viivoilla on yhdistetty ne maankäsittelytavat ja deformaatioluokat, joiden logaritmimuunnatut keskiarvot erosivat t-testissä 5 %:n riskitasolla. Juuri/verso-suhde (TUNNUS 2) hiesu- (Halla-aho), hietamoreeni- (Suvantovaara) ja hietamaan (Väljänlammenkangas) eri tavoin muokatussa maassa sekä taimilajeittain.

| TUNNUS 1 | Juuristo | | | Aurus | Äestys | Kuokkalaikku | | | | | | |
|----------------|---------------------|----------|-----------------|--------------|--------|--------------|-----------|---------|--------|----------|--|--|
| | Normaali | Epämuod. | Pahoin epämuod. | | | | | | | | | |
| | Rangan paksuus (mm) | | | | | | | | | | | |
| Keskiarvo | 4,3 | 5,5 | 6,1 | 6,2 | 5,2 | 3,7 | | | | | | |
| n | 113 | 43 | 49 | 57 | 86 | 62 | | | | | | |
| t-testi | _____ | | | _____ | | | | | | | | |
| | Verson kasvu (mm) | | | | | | | | | | | |
| Keskiarvo | 123,7 | 139,3 | 168,9 | 151,4 | 153,7 | 103,3 | | | | | | |
| n | 113 | 43 | 49 | 57 | 86 | 62 | | | | | | |
| t-testi | _____ | | | _____ | | | | | | | | |
| TUNNUS 2 | Maalaji | | | Maanmuokkaus | | | Taimilaji | | | | | |
| | Hs | HtMr | Ht | Kuokkal. | Äestys | Aurus | Fs-308+ | Fs-308- | Ps-408 | Kuutiop. | | |
| Keskiarvo | 0,30 | 0,28 | 0,28 | 0,29 | 0,26 | 0,28 | 0,30 | 0,26 | 0,27 | 0,27 | | |
| Keskiahajonta | 0,11 | 0,10 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,12 | 0,07 | 0,08 | 0,11 | | |
| Ka:n keskiv. | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | | |
| N (taimia kpl) | 68 | 71 | 70 | 68 | 86 | 74 | 54 | 56 | 58 | 58 | | |



Kuva 10. Eri taimilajien juuriston keskileveys ja -syvyys maankäsittelytavoittain kolmantena kesänä istutuksesta. Juuriston keskiakselin vasen puoli on piirretty peilikuvana. Keskileveyksien ja -syvyyksien välillä havaitut tilastolliset erot on merkitty 5 %:n (*) ja 1 %:n (**) riskillä. Rasterointi esittää paperikennotaimen paakun kokoa.

aikana (Voss-Lagerlund 1976). Tutkimuskesän sää oli kuitenkin keskimääräistä sateisempi. Tämä lisäsi paperin hajoamista karkearakeisilla mailla. Hienojakoisilla mailla paperin hajoaminen vastaavasti vähenee anaerobisuuden vuoksi (Mikola 1954).

Paras hajoamistulos saavutettiin hietamoreeni-mailla sekä Kalettomankankaan hiekkamoreeni-mailla, jonka hienoainesosuus oli pieni. Odotettua oli auraton sekä lajittuneen hiekkamaan ja runsaasti hienoainesta sisältäneiden maiden kennoliuskosten huono hajoaminen. Kesän sääoloista, aineiston koosta ja palteen humusaineksen epätasaisesta jakaumasta johtuen yksiselitteistä johtopäätöstä kennopaperin hajoamisesta ei voida kuitenkaan esittää.

Kennopaperin hidaskasvu on omiaan lisäämään juuriston epämuotoisuutta. Hajoamisen on todettu olleen vähäistä jopa usean vuoden kuluttua istutuksesta (Bergman ja Häggström 1973, Paavonen 1977, Hultén ja Jansson 1978, Filipsson 1982, Rautio 1982, Laurila 1983). Tämä on rajoittanut paljon juuriston kasvua kennon läpi (Bergman ja Häggström 1973). Antola (1986) löysi paperin jäänteitä suurimmassa osassa tutkimuksessa mukana olleista kennotaimista vielä kymmenen vuoden kuluttua istutuksesta.

Palleaurauksessa kennopaperin läpi kasvaneiden juurten määrä oli viljelykesänä samaa suuruusluokkaa kuin Lähteen ja Kinnusen (1974) tutkimuksen kohteena olleilla palle- ja piennartaimilla. Kuokkailaikkutaimien osalta myös Valtasen (1978) viljelykesää koskeva tulos oli samansuuntainen, mutta nyt tehdyssä tutkimuksessa kolmen kasvukauden kuluttua paperin läpi kasvaneiden juurenkärkien määrä oli pienempi. Valtasen (1978) tulokset olivat kuitenkin hietamoreenimaalta, kun taas tässä tutkimuksessa maalajin raekostumus vaihteli enemmän. Palteen epävakaista lämpöoloista johtuen (esim. Kubin 1990) routa ja rouste ilmeisesti liikuttavat jonkin verran juuripaakkuja. Näin rutiinin vaihtaminen vaikeuttaa muutenkin määrällisesti vähäistä juurten kasvua kennon läpi (Filipsson 1982). Kennopaperin läpi kasvaneita primäärisiä sivujuuria oli tässä tutkimuksessa kuitenkin vain pieni osa kaikista sivujuurista. Laboratorio-olosuhteissa juuriston kasvupotentiaali voi olla hyvin suuri. Tällaisissa olosuhteissa kennon läpi voi kasvaa puolelta vuodesta yli 50 juurenkärkeä (Valtanen 1977).

Karkeiden maiden auraspalteissa etenkin huono

vesitalous hidastaa taimien kasvua. Tämä näkyi tässäkin tutkimuksessa kahden alimman juurenkärkiluokan suurehkona osuutena. Hienojakoisten maiden auraspalteiden parempi vesitalous tuki juurenkärkien määrän kasvua. Myöskin taimien elossaolo oli tällaisilla kasvupaikoilla karkeiden maiden palteita parempi (Rautiainen 1992). Juuriston uusiutumiskykyyn vaikuttavia tärkeitä tekijöitä ovat kasvupaikan kosteusolojen (Stone ja Jenkinson 1970, Richie 1985) ohella myös maan lämpötila (Stone ym. 1962, Richie 1985) ja ravinteisuus (Lüpke 1976). Toisaalta juuriston kasvupotentiaaliin vaikuttavat myös taimen fysiologinen kunto nostojankohtana, talvilevon taso (Famer 1975, Webb 1977) ja taimitarhaviheen versotuhot (Colombo ja Glerum 1984). Juuriston kasvukyky on korreloinut usein taimien elossaolon kanssa (esim. Burdett 1979, Sutton 1980), mutta hyvin usein yhteys on peittyneet aineiston suureen hajontaan ja koeolosuhteista johtuviin tekijöihin (Sutton 1980). Usein ei voidakaan luotettavasti ennustaa, missä määrin tai missä olosuhteissa korrelaatio on mahdollinen tai ensinkään selvä (Burdett 1979).

Juuriston kiertyminen on ollut yleistä sekä paljasjuurisilla taimilla että paperikennotaimilla (Valtanen 1977, Rautio 1982, Laurila 1983, Kinnunen ja Laurila 1983, Antola 1986, Parviainen ja Antola 1986, Seppälä 1986, Rusanen 1986), samoin hajoamattomassa paakunmuodostajassa kasvatetuilla taimilla (Jansson 1971, Laurila 1983, Kinnunen ja Laurila 1983). Juuriston epämuodostuminen saa alkunsa taimitarhalla, missä juuristo kiertyy runsaasti jo ensimmäisten kasvukuukausien aikana (Jansson 1971, Valtanen 1977). Havupuiden taimien juuriston epämuotoisuuden ei ole havaittu oleellisesti korjaantuvan (Lokvenc 1979), vaikka paakunmuodostaja poistettaisiin istutuksen yhteydessä. Se, että tässä tutkimuksessa paperittomien ja paperipäällisten kennotaimien juuristo oli rakenteeltaan samankaltainen, tukee näitä tuloksia. Toisaalta juuriston epämuotoisuuden ei ole havaittu merkittävästi lisääntyneen enää istutuskesänä (Lähde ja Kinnunen 1974). Myöhemmässä taimivaiheessa paperikennotaimen (Hiatt ja Tinus 1974, Hultén ja Jansson 1978) ja paljasjuurisen taimen (Rautio 1982) juuriston rakenteen ei ole oleellisesti havaittu muuttuneen. On todettu, että paljasjuuristen taimien juuriston rakenne on huono vielä kymmenen vuoden

kuluttua viljelystä (Paavonen 1977).

Tämä tutkimus osoittaa, että juuriston rakenteen erot johtuvat pääasiassa tainten kokoeroista. Pienet ja pieninä istutetut taimet olivat selvästi juuristorakenteeltaan parempia kuin kookkaina istutetut ja suurikokoiset taimet. Tämä näkyi selvästi Kalettomankankaan taimissa. Muilla koekentillä tämä näkyi lähinnä äestetyin maan taimissa, mutta ei enää selvästi auratun maan taimissa, jotka olivat versoltaan selvästi muilla tavoin muokattujen maiden taimia suurempia (Rautiainen 1992). Taimen koon ja juuriston rakenteen välinen riippuvuus on havaittu eri taimilajeilla aikaisemmissakin juuristotutkimuksissa (Lindberg 1920, Wibeck 1923, Jansson 1971, Hay ja Woods 1974, Parviainen 1976).

Istutustavasta johtuen paljasjuurisen taimen juuristo on ollut usein litteä ja toispuoleinen (Kinnunen ja Linnimäki 1978, Antola 1986). Sen sijaan kennotaimi-istutuksissa paakku vähentänee huomattavasti juuriston puristumista kokoon. Kuutiopaakkutaimen lievä juuriston epämuotoisuus johtui ilmeisesti siitä, että istutuksen yhteydessä paakkuja oli puristettu käsin leveysuunnassa. Näin jouduttiin tekemään, koska kuutiopaakkutaimien istutukseen ei ollut vielä viljelykesänä käytettävissä riittävän isoa pottiputkea. Istutuksen juuristoa deformaiva vaikutus tunnetaan myös paljasjuuristen taimien osalta (Lindström 1978).

Maalajin vaikutus eri kennotainten juuriston epämuotoisuuteen oli vähäinen, sillä juuriston epämuotoisuus oli samankaltaista sekä karkeilla että hienoilla mailla. Sen sijaan primääristen sivujuurten lukumäärä oli vähän pienempi hienorakeisilla kuin karkeilla mailla. Tämä vaikeuttaa tarkempien johtopäätösten tekoa. Toisaalta erillisaineistosta tehty laskenta osoitti, että juuriston deformaatio voi kasvaa karkeajakoisilla mailla, kun maan vedenläpäisevyys paranee. Tulos viittaa palteiden kuivumiseen ja eroosioon. Karkeat maat eivät roudi, mutta niiden eroosio on ensimmäisinä vuosina aurauksen jälkeen melko voimakasta (Ferm ja Sepponen 1981). Sen sijaan hienojakoisilla mailla routiminen on voimakasta, ja tämä onkin ilmeisesti pääasiallinen paakun asemaan vaikuttava tekijä. Ilmeisesti näistä syistä johtuen paperikenttien kohoaminen oli yhtä suurta sekä karkeilla että hienorakeisilla mailla. Toisaalta tässä yhteydessä käytetty 50 %:n hienoainesraja (Rantamäki ym. 1979) oli ehkä liian korkea

kuvattaessa maan hienoaineksen vaikutusta.

Paitsi paperikennotaimien, myös hajoamattomissa paakunmuodostajissa kasvatettujen taimien (Kinnunen ja Laurila 1983) juurten deformaatiosta johtuva yhteenkasvamisen (Bormann ja Graham 1959) on ollut yleistä. Yhteen kasvamista ilmentäviä kuoren jäämiä on tavattu myös vanhempien istutusmääntien kantopuusta (Hagner 1978). Gillrenin mukaan (Lindström 1978) deformaatiota ei ole kuitenkaan enää helppo havaita puun ikääntyessä. Grenen mukaan (Kinnunen ja Laurila 1983) spiraalimaisesti kiertyneet sivujuuret voivat kasvaessaan ehkäistä muidenkin juurten paksuuskasvua. Tällainen juuristo saattaa jopa kokonaan murtua poikki. Deformaation on havaittu muuttaneen myös vanhempien istutettujen kontortamääntien juuripuun rakennetta (Halter ym. 1993). Lisäksi ensimmäisen asteen sivujuuria on tavattu vähemmän ja ne ovat sijainneet merkittävästi alempana kuin luontaisesti syntyneissä puissa (Halter ym. 1993). Mänty ei kasvata adventiivijuuria, joten muutokset ovat pysyviä. Voimakkaasti deformoitunut juuristo epäilemättä vaikeuttaa jossain määrin puun elintoimintoja ja altistaa tainta myös erilaisille tuhoille. Hyvin voimakkaan juuriston epämuotoisuuden onkin todettu selvästi heikentävän taimien pysymistä elossa (Etholén 1972). Huomattavakaan juuriston epämuotoisuus ei välttämättä kuitenkaan johda puun kaatumiseen.

Juuriston tasainen levittäytyminen kasvualustaan ja luonnonmukainen rakenne ovat huomattavasti lisänneet taimen stabiliteettia (Huuri 1976, Lokvenc 1979, Rautio 1982), mikä on luonnontaimilla todettu huomattavasti paremmaksi kuin paperikennotaimilla (Huuri 1976, Rautio 1982). Juuriston kasvu taimivaiheessa on nopeaa, mutta primääristen sivujuuriston ja juurenkärkien lukumäärän kasvu alkaa taantua jo 10–15 vuoden kuluttua istutuksesta (Eis 1978). Sellaisten nuorten puiden, joiden juuristo on kiertynyt, kasaan pakkautunut, pinnallinen ja suuntautumiseltaan rajoittunut, kaatumisalttius on usein normaalijuuristoisia puita suurempi (esim. Rohmeder 1968, Huuri 1976). Tässä tutkimuksessa auraus lisäsi selvästi juuriston kokoa palteissa niin hieno- kuin karkeajakoisillakin mailla. Karkeiden maiden osalta sama on havaittu myös aiemmissa tehokkain menetelmin toteutetuissa muokkaustutkimuksissa (Schultz 1973, Laiho 1976, Mutka ja Lähde 1977, Levula 1990).

Männyn juuristo kasvaa parhaiten, kun maan lämpötila on 20–30°C (esim. Ladefoged 1939). Tällaisia lämpötiloja on kuitenkin pohjoisissa olosuhteissa saavutettu voimaperäisestikin muokatussa maassa vain ajoittain (Söderström 1974, 1976, 1977, Tolvanen 1989, Tolvanen ja Kubin 1990, Kubin ja Kemppainen 1994). Lämpötilan lisäksi juuriston parempaa kasvua palteessa selitti tässä aineistossa myös muokkauksella aikaan saatu ilmatilan lisäys (Rautiainen 1992), jonka on todettu korreloivan hyvin juuriston kasvun kanssa (Lähde ja Mutka 1974). Muita tässä tutkimuksessa juuriston kokotunnuksiin vaikuttavia syitä olivat ilmeisesti koekenttäkohtaiset erot palteiden paksuudessa ja ravinteisuudessa (ks. myös Ross ja Malcolm 1982, Rusanen 1986, Lundmark 1988), humuksen määrässä, maan kosteudessa, lajitekoostumuksessa ja muissakin maan fysikaalisissa ominaisuuksissa (ks. myös Voronkov 1971). Tuoreilla kangasmailla kuokkalaikussa ja äestysjäljessä maan liiallinen kosteus ja pieni ilmatila usein selvästi rajoittavat juuriston syvyyskasvua ja haaroittumista (Lähde ja Mutka 1974). Tämä ilmeni myös tässä tutkimuksessa siinä, että hiesuisen Halla-ahon taimien juuristot olivat pienempiä kuin muiden koekenttien taimien juuristot. Halla-ahossa palteet olivatkin ilmanlämpäisevyydeltään huonot. Ne olivat myös paikoin huonosti muodostuneet, minkä vuoksi osa taimista jouduttiin istuttamaan palteen viereen.

Tässä tutkimuksessa eri taimilajien juuriston leveyden eroihin vaikuttivat niin paakun kokoerot, erilainen deformaatio kuin maan muokkauksin. Maan muokkaaminen ei kuitenkaan lisännyt lainkaan papereineen istutetun kennotaimen juuriston todellista, kennon rajalta tapahtunutta leveyskasvua. Tulos viittaa osaltaan paperikennotaimen juuriston voimakkaaseen epämuotoisuuteen, sillä muilla taimilajeilla äestys kaksinkertaisti ja auraus nelinkertaisti juuriston kennon rajalta mitatun leveyskasvun. Paperikennotaimen juuriston voimakas epämuotoisuus aiheutuu siitä, että kennopaperi kuivuu toistuvasti, hajoaa huonosti ja jää näin mekaaniseksi esteeksi rajoittamaan juuriston kasvua. Paperikennotaimen juuriston pienempi koko turveruukutaimen verrattuna on havaittu myös kymmenvuotiaista männyn taimista (esim. Rusanen 1986).

Paperin huonosta hajoamisesta johtuen papereineen istutetun kennotaimen juuriston levein kohta

jäi auratuilla mailla selvästi alemmaksi kuin paperilla istutettaessa. Myös aiemmissa tutkimuksissa paperikennotaimen juuriston levein kohta on asetunut turveruukkutainta alemmaksi (Parviainen 1976, Kinnunen ja Lemmetyinen 1980). Tämä viittaa siihen, että kennopaperi on rajoittanut juuriston kasvua etenkin paakun yläosassa.

Papereineen istutetun taimen juuriston deformaatio oli melko suuri eikä istutuksen yhteydessä tehdyllä kennopaperin poistamisella kyetty oleellisesti parantamaan juuristokehitystä. Tutkimus puoltaa ilman paakunmuodostajaa kasvatettavien taimilajien käyttöä metsänviljelyssä. Sen lisäksi, että kehitetään paakunmuodostajaa, myös taimitarhakasvatustavaihtoa tulisi mahdollisuuksien mukaan lyhentää. Tämä vähentäisi juuriston deformaatiota. Kokeen yhteydessä tutkittiin myös pienehkö otos kylvötaimia, joissa ei havaittu vastaavia juuriston epämuodostumia. Tämän tutkimuksen yhteydessä ei ollut mahdollista seurata sitä, miten juuristo kehittyy pitemmän ajanjakson aikana lajitekoostumukseltaan hyvin erilaisilla mailla. Tältä osin lisäselvitykset ovat vielä tarpeen.

Kiitokset

Tutkimus käynnistettiin metsähallituksen aloitteesta yhteistutkimuksena Metsätutkimuslaitoksen kanssa. Taimet kasvatettiin Nuojuan keskustaimitarhalla. Kokeen perusti maastoon mti Jyrki Vätilalo. Maastomittauksista vastasivat Muhoksen tutkimusaseman ja Paljakan tutkimusalueen mittausryhmät. Maalajimääritykset teki Paula Kylmänen. Tilastomatematisessa laskennassa avusti FM Ari Sarpola ja käsikirjoituksen viimeistelyssä Irene Murtovaara ja Tuula Väärä. Kirjoittajista Esa Rautiainen suunnitteli ja toteutti juuristotutkimuksen, laati aineistosta kasvitieteen laudaturtyön Oulun Yliopistossa ja julkaisun käsikirjoituksen, jonka molemmat kirjoittajat ovat yhdessä viimeistelleet. Kieli- asun tarkasti FM Salla Räisänen. Esitämme kaikille työn eri vaiheisiin osallistuneille parhaat kiitokset.

Kirjallisuus

- Aaltonen, V.T., Aarnio, B., Hyypä, E., Kaitera, P., Keso, L., Kivinen, E., Kokkonen, P., Kotilainen, M.J., Sauramo, M., Tuorila, P. & Vuorinen, J. 1949. Maaperäsanaston ja maalajien luokituksen tarkastus v. 1949. Summary: A critical review of soil classification in Finland in the year 1949. *Maataloustieteellinen Aikakauskirja* 21: 36–66.
- Antola, J. 1986. Männyn eri taimilajien juuriston kehitys käytännön metsänuudistusalajoilla. 84 s. + liitteet 12 s. *Metsänhoitotieteen pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto.
- Atterberg, H. 1912. Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Mineralboden Schwedens. *Int. Mitt. Bodenk.* 2: 312–342.
- Autio, K. 1965. Metsänviljelyaura – ase metsänuudistajan kädessä. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 4: 129–131.
- Bergman, F. & Häggström, B. 1973. Några faktorer av betydelse vid skogsplantering av rotade plantor. Summary: Some important facts considering planting with rooted forest plants. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidsskrift* 71(6): 565–578.
- Bormann, F.H. & Graham, B.F. 1959. The occurrence of natural root grafting in eastern white pine, *Pinus strobus* L. and its ecological significance. *Ecology* 40(4): 677–691.
- Burdett, A.N. 1979. New methods for measuring root growth capacity: their value in assessing lodgepole pine stock quality. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 63–67.
- Colombo, S.J. & Glerum, C. 1984. Winter injury to shoots as it affects root activity in black spruce container seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 14(1): 31–32.
- Eis, S. 1978. Natural root forms of western conifers. Teoksessa: Eerden, E. van & Kinghorn, J. (toim.) *Proceedings of the root form of planted trees symposium, Victoria, B.C. 16–19.5.1978*. British Columbia Ministry of Forest/Canadian Forestry Service Joint Reports 8: 23–27.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analyses of soil. Seloste: Maan raekoostumuksen määrittäminen. *Acta Agriculturae Fennica* 122: 1–122.
- Etholén, K. 1972. Männyn viljelyn tulos Pohjois-Suomessa ja siemenen alkuperä. Summary: The success of artificial regeneration of Scots pine in northern Finland and origin of seeds. *Folia Forestalia* 160. 27 s.
- Famer, R.E. 1975. Dormancy and root regeneration of northern red oak. *Canadian Journal of Forest Research* 5: 175–185.
- Ferm, A. & Sepponen, P. 1981. Aurasjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusalajoilla Lapissa 10 vuoden aikana. Summary: Development of ploughed tracks and vegetation on reforestation areas in Finnish Lapland during of period of 10 years. *Folia Forestalia* 493. 19 s.
- Filipsson, S. 1982. Root development of paperpot seedlings with and without container wall. Teoksessa: Hultén, H. (toim.) 1982. Root deformation of forest tree seedlings-proceedings of nordic symposium. *Sveviges Lantbruksuniversitet. Institution för Skogsproduktion. Rapporter* 11: 66–72.
- Hagner, S. 1978. Observations on the importance of root development in the planting of containerized tree seedlings. *Proc. root form of planted trees symp. Victoria, B.C. 16–19.5.1978*. British Columbia Ministry of Forest. Joint Reports 8: 109–113.
- Halonen, S. 1965. Käsité “laikutus” pian aikansa elänyt. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 4: 131–132.
- Halter, M.R., Chanway, C.P. & Harper, G.J. 1993. Growth reduction and root deformation of containerized lodgepole pine saplings 11 years after planting. *Forest Ecology and Management* 56: 131–146.
- Hay, R. & Woods, F. 1974. Shape of root systems influences survival and growth of loblolly seedlings. *Tree Planters Notes* 25(3): 1–2.
- Heino, R. & Hellsten, E. 1983. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961–1980. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan. Nide 80, osa 1a: 1–559.
- Hiatt, H.A. & Tinus, R.W. 1974. Container shape controls root system configuration of Ponderosa pine. Teoksessa: Tinus, R.W., Stein, W.J. & Balmer, W.E. 1974. *North American containerised forest tree seedlings symposium 26.–28.8*. Great Plains Agricultural Publishers 8: 194–196.
- Huikari, O. 1953. Metsäojitus koneellistuu. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 10: 338–339.
- 1954. Metsänhoitotöiden koneellistamisen nykyvaihe. Summary: A good start with the mechanisation of silvicultural tasks. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 8: 303–306.
- Hultén, H. & Jansson, K.-Å. 1978. Stabilitet och rotdeformation hos tallplantor. Stability and root deformation of pine plants (*Pinus silvestris*). Skogshögskolan. *Institution för Skogsförnyring. Rapporter och Uppsatser* 93: 1–84.
- Huuri, O. 1969. Paakkutaimien käyttö kautta aikojen. *Metsälehti* 38: 6–7.
- 1976. Kallistumisilmiö istutusmännikoissä; tiedustelun tuloksia. Summary: Tilting of planted pines; survey results. *Folia Forestalia* 265. 22 s.
- Ilmastohavainnot 1986–1989. Suomen meteorologinen vuosikirja. Niteet 87–89.

- Insley, H. & Patch, D. 1980. Root deformation by biodegradable containers. *Arboculture Research Note* 22: 1–4.
- Jansson, K.-Å. 1971. En orienterade studie av rotade tallplantor avseende rotdeformation. Skogshögskolan. Institution för skogsförnyring. Rapporter och Uppsatser 31: 1–25.
- Kallio, K. 1965. Valtion metsien uudistusalojen inventoinnin tuloksia. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 82(4): 121–126.
- Kauppila, S. & 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 Forestalia* 230. 29 s.
- Kinnunen, K. & Linnimäki, J. 1978. Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Pohjois-Karjalassa. *Folia Forestalia* 329. 32 s.
- & Lemmetyinen, M. 1980. Paakkukoon vaikutus männyn taimien alkukehitykseen. Initial development on containerized pine seedlings as affected by size of earth ball. *Folia Forestalia* 419. 19 s.
- & Laurila, I. 1983. Erialaisten männyntaimien juuriston ja verson alkukehitys karuhkolla moreenimaalla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 108. 30 s.
- Kubin, E. 1986. Paakkutaimien paperin lahoaminen. Luonnon tutkimussuunnitelmaksi. *Moniste*. 16 s. + 1 liite. *Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusasema*.
- 1990. Lumi-, routa- ja lämpöolot eri tavoin muokatussa metsämaassa Kuusamossa. Abstract: The effect of site preparation on snow, soil frost and temperature conditions at a site near Kuusamo. Teoksessa: Leikola, M. & Koponen, A. (toim.) 1990. *Metsä akademiana. Prof. Paavo Yli-Vakkuri 75 vuotta*. *Silva Fennica* 24(1): 35–45.
- & Kempainen, L. 1994. Effect of soil preparation of boreal spruce on air and soil temperature conditions in forest regeneration areas. *Acta Forestalia Fennica* 244. 42 s. + liitteet 14 s.
- Ladefoged, K. 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäume. *Forstlige Forsogsvaesen Danmark* 16. 256 s.
- Laiho, O. 1976. Tehomuokkauksen vaikutus taimiston alkukehitykseen kanervatyypillä. *Metsäntutkimuslaitos. Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja* 3: 1–5 + liitteet 2 s.
- Laurila, I. 1983. Männyn luontaisesti syntyneiden ja viljelytaimien juuriston ja verson alkukehitys. *Metsänhoitotieteen laudatur-tyo*. 53 s. Helsingin yliopisto.
- 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. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 84(2). 64 s.
- & Raulo, J. 1972. Tutkimuksia taimityypiluokitusta varten II. *Metsänviljelyn koeaseman tiedonantoja* 11. 31 s.
- Levula, T. 1990. Maanmuokkaus metsän uudistamiseksi. Teoksessa: Kangasmaiden ominaisuudet ja hoito. *Maantutkimuspäivä Kouvolassa 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 370: 73–84.
- Lindberg, F. 1920. Såd eller plantering? Om faran för rotdeformation vid omskolning och barrottsplantering, särskilt spettplantering av barrträdsplantor. *Skogen* 4: 97–114.
- Lindström, A. 1978. Rotdeformation i olika typer av plantodlingssystem samt möjligheter att begränsa rotdeformation. *Skogshögskolan. Institution för Skogsförnyring. Rapporter och Uppsatser* 91: 1–95.
- Lokvenc, T. 1979. Problems of deformation of roots at containerized plants. *Communicationes Instituti Forestalis Cechosloveniae* 11: 33–47.
- Lundmark, J. E. 1988. Skogsmarkens ekologi. *Ståndortanspassad skogsbruk, del 2. Tillämpning*. 319 s. *Skogsstyrelsen*.
- Lüpke, B. 1976. Wurzelregeneration von jungen Forstpflanzen nach dem Verpflanzen. *Forstarchiv*. 47(12): 245–251.
- Lähde, E. 1972. Paperikenojen ja turveruukkujen lahoamisnopeus ja sen merkitys juurten kehitykselle Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja* 3: 6–10 + liitteet 5 s.
- 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. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 94(5). 59 s.
- & Kinnunen, K. 1974. Paperikennon ja turveruukun seinän lujuus ja taimien alkukehitys Pohjois-Suomessa. Summary: The relationships between the wall strength of paper and peat pots and the initial development of seedlings in northern Finland. *Folia Forestalia* 197. 19 s.
- & Mutka, K. 1974. Luontaisesti syntyneiden ja istutettujen kuusentaimien kehitys ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of root system and development of volunteer and planted Norway spruce transplants in Northern Finland. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 83(3). 43 s.
- , Manninen, S. & Tervonen, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. Summary:

- The effect of drainage and cultivation on soil physical properties and the development of conifer seedlings. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 98(7). 43 s.
- Mannerkoski, H. & Möttönen, V. 1990. Maan vesitalous ja ilmatila aurasalueilla. Summary: Soil water conditions and air-filled porosity on ploughed reforestation areas. *Silva Fennica* 24(3): 279–301.
- Mikola, P. 1954. Kokeellisia tutkimuksia metsäkarikkeen hajoamisnopeudesta. Summary: Experiment of the rate of decomposition of forest litter. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 43(1). 50 s.
- Mutka, K. & Lähde, E. 1977. Effect of soil treatment, liming and phosphate fertilization on initial development on bare-rooted Scots pine transplants. Seloste: Maan käsittelyn, kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 91(3). 57 s.
- Mälkönen, E. 1972. Näkökohtia metsämaan muokkauksesta. Summary: Some aspects concerning cultivation of forest soil. *Folia Forestalia* 137. 12 s.
- 1976. Markberedningens ekologi och inverkan på planteringsresultatet. Redogörelse. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten 6: 11–15.
- Nisula, P. 1966. Rullataimimenetelmä. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 83(2): 519–521.
- Norokorpi, Y. 1972. Nuorten kuusen taimistojen nykyisestä tilasta ja kehityksestä Perä-Pohjolan valtion mailla. *Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusosaston tiedonantoja* 3: 16–22.
- Oikarinen, M. 1991. Suomussalmen männynviljelyinventointi. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 389. 60 s.
- & Norokorpi, Y. 1986. Vuosina 1956–65 viljeltyjen männyntaimikoiden tila valtion mailla Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 222. 46 s.
- Paavonen, A. 1977. Männyn istutustaimien juuriston kehitys käytännön uudistusaloilla Pohjois-Savossa ja Keski-Suomessa. *Metsänhoitotieteen pro gradu -työ*. 64 s. Helsingin yliopisto.
- Palmgren, K. 1984. Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. *Folia Forestalia* 603. 27 s.
- Parviainen, J. 1976. Männyn eri taimilajien juuriston alkukehitys. Summary: Initial development of root systems of various types of nursery stock for Scots pine. *Folia Forestalia* 268. 27 s.
- Parviainen, J. 1985. Kuutiopaakkutaimimenetelmä. Menetelmän biologinen tausta ja yksivuotisten taimien kasvatuskokemuksia. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 171. 30 s.
- & Antola, J. 1986. Taimien kehitys ja juuriston morfologia eri taimilajeilla perustetuissa mäntyistutuksissa. Summary: The root system morphology and stand development of different types of pine nursery stock. *Folia Forestalia* 671. 29 s.
- Puukko, O. 1965. Vesitalous voitava järjestää otolliseksi. *Metsätaloudellinen Aikakauslehti* 4: 132–133.
- Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tamminen, M. 1979. *Geotekniikka* 467. 121 s. Otakustantamo.
- Rautiainen, E. 1992. Maan fysikaalisista ominaisuuksista ja juuriston deformaatiosta männyn taimettumiseen vaikuttavina tekijöinä eri tavoin muokatulla metsämaalla. 118 s. + liitteet 17 s. *Kasvitieteen laudatur-työ*. Oulun yliopisto.
- Rautio, A. 1982. Luontaisesti syntyneiden ja istutettujen männyn taimien juuriston ja verson alkukehitys Itä-Suomessa. *Metsänhoitotieteen laudatur-työ*. 57 s. Helsingin yliopisto.
- Ritari, A. 1988. Metsämaan lämpötilous Pohjois-Suomessa. Teoksessa: *Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1983*. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 105: 83–97.
- & Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. *Communicationes Instituti Forestalia Fenniae* 92(7). 37 s.
- Ritchie, G.A. 1985. Root growth potential: principles, procedures and predictive ability. Teoksessa: Duryea, M.O. (toim.) 1985. *Proceedings: Evaluating seedlings quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests*. s. 93–104. Oregon State University.
- Rohmeder, E. 1968. Durch künstliche Wurzelraum einengung bedingter Spiralwuchs von Kiefernwurzeln. *Allgemeine Forstzeitschrift* 50: 868–869.
- Ross, S.H. & Malcolm, D.C. 1982. Effects of intensive forestry ploughing practices on an upland heath soil in South East Scotland. *Forestry* 52(2): 155–171.
- Rusanen, M. 1986. Männyn eri taimilajien juuristojen suuntautuminen aurasalueella. *Metsänhoitotieteen pro gradu -tutkielma*. 93 s. Helsingin yliopisto.
- Schultz, R.P. 1973. Site treatment and planting method alter root development of slash pine. USDA forest research paper. No SE-109: 1–11. Southeastern Forest Experiment Station.
- Seppälä, M. 1986. Männyn eri taimilajien juuristokehitys. *Metsänhoitotieteen syventävien opintojen tutkielma*. 101 s. + liitteet 4 s. Joensuun yliopisto.
- Solin, P. 1970. Männyn istutuksen antamista tuloksista Lapin piirimetsälautakunnan alueen eteläosissa. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. *Tiedonantoja* 3. 69 s.

- Stone, E.C. & Jenkinson, J.L. 1970. Influence of soil water on root growth capacity of Ponderosa-pine transplants. *Forest Science* 16(2): 230–239.
- , Jenkinson, J.L. & Krugman, S.L. 1962. Root regeneration potential of Douglas – fir seedlings lifted at different times of the year. *Forest Science* 8(3): 288–292.
- Sutton, R.F. 1980. Planting stock quality, root growth capacity and field performance of three boreal conifers. *New Zealand Journal of Forestry Science* 10(1): 54–71.
- Söderström, V. 1974. Markberedning. Summary: Soil treatment. *Sveriges Skogsvårdsförb. Tidskrift* 72(1): 159–166. Sveriges Skogsvårdsförbund.
- 1975. Ekologiska verkningar av hyggesplogning. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 5: 443–472.
- 1976. Markvärme – en minimifaktor vid plantering. *Forskningstiftelsen skogsarbeten. Redogörelse* 6: 16–22.
- 1977. Markberedningens inverkan på markegenskaperna. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 75 (2–3): 225–232.
- Takala, P. 1969. Paperpotit – istutuskauden pidentäjä pohjoisessa. *Metsälehti* 13. s. 6.
- Tolvanen, A. 1989. Avohakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus lakialueen lämpöoloihin Kuusamossa. Pro gradu -tutkielma. 46 s. Oulun yliopisto.
- & Kubin, E. 1990. The effect of clear felling and site preparation on microclimate, soil frost and forest regeneration at elevated sites in Kuusamo. Julkaisussa: Kubin, E. (ed.). *Proceedings of the SNS Seminar on "Stress in Nature" held at Oulanka, Finland, on September 11–14, 1989. Aquilo Series Botanica Tom. 29: 77–86.*
- Turtiainen, M. & Valtanen, J. 1974. Metsänviljelytutkimuksen välituloksia Pohjanmaan ja Kainuun metsä-aurausalueilta. *Metsäntutkimuslaitos, Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja* 8. 16 s. + liitteet 12 s.
- Valtanen, J. 1969. Uusia ajatuksia metsänviljelystä. Hyvä taimi ja sen tuottaminen Pohjois-Suomessa. *Metsä ja Puu* 12: 9–11.
- 1977. Paakkutaimien kasvatusta ja käyttömahdollisuudet metsänviljelyssä I. Laboratoriokokeet. *Metsänhoitotieteen lisensiaattityö maatalous- ja metsätieteiden lisensiaatin tutkintoa varten.* 119 s. Helsingin yliopisto.
- 1978. Paakkutaimien käyttökelpoisuus suolla ja kanakaalla. *Suometsätieteen sivulaudatur-työ.* 77 s.+ liitteet 3 s. Helsingin yliopisto.
- Viro, P. 1952. Kivisyden määrittämisestä. Summary: On the determination of stoniness. *Communicationes Instituti Forestaliae Fenniae* 40(3). 23 s.
- Voronkov, N.A. 1971. Root systems of *Pinus silvestris* L. on sandy soils. Teoksessa: II. *Internationales Symposium Ökologie und physiologie des Wurzelwachstums: 155–160.* Akademie Verlag, Berlin.
- Voss-Lagerlund, K. 1976. Effects of soil preparation on the bacterial population in forest soil. *Seloste: Muokkauksen ja lannoituksen vaikutus metsämaan mikrobistoon. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 86(7). 35 s.
- Wall, A. 1993. Männyyn suunnatun hajakylvön onnistuminen eri tavoin muokatulla metsämaalla. 86 s. + liitteet 8 s. *Metsänhoitotieteen pro gradu -työ.* Helsingin yliopisto.
- Webb, D.P. 1977. Root regeneration and bud dormancy of maple, silver maple and white ash seedling; effects of chilling. *Forest Science* 23: 474–483.
- Wibeck, E. 1923. Deformation of the root system of Scots pine through auger planting. *Medd. från Statens Skogsförsöksanstalt* 20: 261–303.
- Yli-Vakkuri, P., Räsänen, P.K. & Solin, P. 1969. Männyviljelyn antamista tuloksista Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piirimetsälautakuntien alueella. *Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja* 2. 92 s.

100 viitettä