METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

MEDDELANDEN FRÅN SKOGSFORSKNINGSINSTITUTET I FINLAND
PUBLICATIONS OF THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
MITTEILUNGEN DER FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT IN FINNLAND
PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE RECHERCHES FORESTIERES DE LA FINLANDE

91

HELSINKI 1978

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Jalostusosasto

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

MEDDELANDEN FRÅN SKOGSFORSKNINGSINSTITUTET I FINLAND
PUBLICATIONS OF THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
MITTEILUNGEN DER FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT IN FINNLAND
PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE RECHERCHES FORESTIERES DE LA FINLANDE

91

HELSINKI 1978

COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

91

91.1 Raitio, H. & Rantala, E-M. 1977. Männyn kasvuhäiriön makro- ja mikroskooppisia oireita. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Summary: Macroscopic and microscopic symptoms of a growth disturbance in Scots pine. Description and interpretation .... 1—30

91.2 Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) stands on drained peatlands in northern Central Finland ..... 1—59

91.3 Mutka, K. & Lähde, E. 1977. Effect of soil treatment, liming, and phosphate fertilization on initial development of bare-rooted Scots pine transplants. Seloste: Maan käsittelyn, kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen ..... 1—57

91.4 Pohtila, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa ..... 1—98

91.5 Mälkönen, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku eräässä koivikossa ..... 1—35

91.6 Lähde, E. & Raulo, J. 1977. Eri kehitysvaiheessa istutettujen rauduskoivun taimien viljelyn onnistuminen auratuilla uudistusaloilla Pohjois-Suomessa. Summary: Development of Silver birch (*Betula pendula* Roth) seedlings outplanted at different developmental stages on plowed reforestation areas in North Finland ..... 1—30

ODC
181.65-
181.34

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 91.1
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 91.1

MÄNNYN KASVUHÄIRIÖN MAKRO- JA MIKROSKOOPPISIA OIREITA

Oireiden kuvaus ja tulkinta

HANNU RAITIO JA EIRA-MAIJA RANTALA

Summary

MACROSCOPIC AND MICROSCOPIC SYMPTOMS OF A GROWTH DISTURBANCE IN SCOTS PINE

Description and interpretation

HELSINKI 1977

ODC 181.65: 181.34
ISBN 951-40-0251-2
ISSN 0026-1610

RAITIO, H. ja RANTALA, E-M. 1977. Männyn kasvuhäiriön makro- ja mikroskooppisia oireita. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Summary: Macroscopic and microscopic symptoms of a growth disturbance in Scots pine. Description and interpretation. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (1): 1—32.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata männyn (*Pinus silvestris* L.) kasvuhäiriön makro- ja mikroskooppisia oireita. Näiden kausaalista tulkintaa varten on suoritettu ravinneanalyyseja vuoden 1976 neulasista.

Kasvuhäiriön makroskooppisia oireita olivat vuosikasvainten kärkikasvupisteiden ja/tai kärkisilmujen kuoleminen, vuosikasvainten haarautuminen, erilaiset tupsumuodostumat, jotka syntyvät pitkäversojen nivelvälien jäädessä normaalia lyhyemmiksi sekä lukuisien lyhyiden kasvainten muodostamat sykeröt. Kasvuhäiriöpuiden neulaset olivat usein käyristyneitä ja kierteisiä. Neulasissa oli myös kloroosia ja nekroosia.

Huomattavimmat mikroskooppiset oireet olivat vuosikasvainten ydinsolukon ja neulasten transfuusiosolukon hypertrofiset solut ja ontelot. Kasvuhäiriöpuiden transfuusiosolukossa sklerenkyymiä oli vähemmän ja se oli yleensä heikommin puutunutta kuin terveissä neulasissa.

Puut voitiin häiriöasteen perusteella luokitella kolmeen ryhmään: terveet puut, terveennäköiset puut, joissa jo oli kasvuhäiriön mikroskooppisia oireita sekä kasvuhäiriöpuut, joissa mikroskooppisten oireiden lisäksi oli selviä makroskooppisia oireita.

Kasvuhäiriön makroskooppisten oireiden perusteella häiriön syyksi on jo aiemmin epäilty hivenaineiden puutetta. Kasvuhäiriön mikroskooppiset oireet ja anatomisesti tutkituista neulasista suoritetut ravinneanalyysit tukevat tätä käsitystä.

This investigation aims at describing the macro- and microsymptoms of the growth disturbances observed in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). For causal interpretation of the symptoms, nutrient analyses have been made from the needles of 1976.

The macroscopic symptoms were: death of the growing points and/or terminal buds of the shoots, dicotomical branching of shoots, various tuft formations caused by abnormally shortened long shoot internodes, and compact clusters of abnormally shortened shoots. Frequently, the needles were hooked and twisted.

The occurrence of hypertrophic cells and cavities in the pith tissue of the shoots and in the transfusion tissue of the needles was the most prominent microsopic symptoms. In the needles of disturbed trees, less sclerenchyma in the transfusion tissue were detected than in normal needles. Also, the sclerenchyma were poorly lignified in disturbed needles as compared with normal ones.

On the basis of the degree of disturbance, the trees were classified in three groups: normal trees, normal-looking trees with microscopic symptoms and disturbed trees with microscopic and clear macroscopic symptoms.

Judging from the macroscopic symptoms, the growth disturbances were suspected to be due to micronutrient deficiency. This apprehension is supported by the microscopic symptoms as well as nutrient analyses from anatomically investigated needles.

Valtion painatuskeskus/Arvi A. Karisto Oy, 1977

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT 7
   21. Makroskooppiset oireet 7
   22. Mikroskooppiset oireet 7
   23. Ravinneanalyysit 7
3. TULOKSET 9
   31. Makroskooppiset oireet 9
   32. Mikroskooppiset oireet 11
      Vuosikasvaimen ydin ja kärkisilmut 11
      Neulaset 11
   33. Ravinneanalyysitulokset 14
4. TULOSTEN TARKASTELU 21
5. YHDISTELMÄ 25
KIRJALLISUUS 27
SUMMARY 30

ALKUSANAT

Tämä työ on osa laajemmasta puiden kasvuhäiriötutkimuksesta, jota suorittaa Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston työryhmä. Projektin johtajina toimivat prof. Olavi **Huikari** (pjoht.), FL Antti **Reinikainen** ja LuK Heikki **Veijalainen.** Kasvuhäiriötutkimus on rahoitettu valtion tulo- ja menoarviosta myönnetyillä ns. suhdannepidätysvaroilla.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata männyllä (*Pinus silvestris* L.) ilmenneen kasvuhäiriön makro- ja mikroskooppisia oireita. Tämän lisäksi on suoritettu vuoden 1976 neulasista ravinneanalyysejä kasvuhäiriön syiden selvittämiseksi.

Aineiston morfologisen ja anatomisen osan kirjoittajat ovat käsitelleet yhdessä. Ravinneanalyysitulosten tilastomatemaattisen käsittelyn ja tulkinnan on suorittanut FM Hannu **Raitio.** Alustavan käsikirjoituksen olemme laatineet yhdessä. Käsikirjoituksen lopulliseen muotoon on laatinut FM **Raitio.**

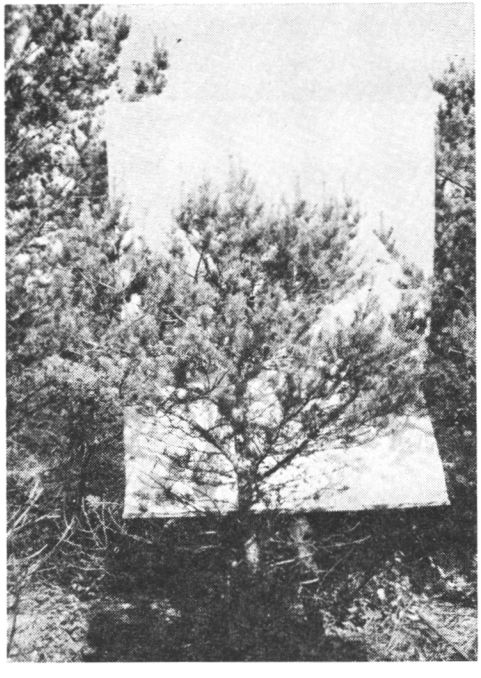
Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusasema on tarjonnut käyttöömme tarvittavat työskentelytilat ja -välineet. Aineiston tilastomatemaattisessa käsittelyssä ensiarvoista opastusta on antanut MMK Erkki **Ahti.** Kirjallisuuden hankinnassa on avustanut yo. Kimmo K. **Kolari.** Käsikirjoituksen ovat lukeneet ja siihen varteenotettuja korjausehdotuksia laatineet projektin johtajat sekä MMK Erkki **Ahti** ja MMT Seppo **Kaunisto.** Konekirjoituksen on suorittanut merkonomi Paula **Häkli.** Englanninkieliset käännökset on laatinut ekonomi Anne **Ahti.** Kaikesta saamastamme avusta esitämme parhaimmat kiitokset.

Parkano, tammikuu, 1977

Hannu Raitio *Eira-Maija Rantala*

1. JOHDANTO

Varsinkin ojitetuilla soilla ja metsitetyillä suopelloilla on viime vuosina havaittu puiden kasvuhäiriöitä, joiden syitä ei ole tunnettu (ks. **Huikari** 1974). Männyllä (*Pinus silvestris* L.) kasvuhäiriö ilmenee mm. kärkikasvupisteen kuolemisena, apikaalidominanssin menettämisenä, tupsumaisina vuosikasvaimina sekä epämuodostuneina neulasina (**Veijalainen** 1975). Vaurioiden toistuessa puusta tulee pensasmainen (kuva 1). Tästä on seurauksena puun pituuskasvun hidastuminen tai pahimmassa tapauksessa puun kuoleminen. Näin ollen ilmiöllä on myös taloudellista merkitystä. Aiempia tätä ilmiötä koskevia alustavia tutkimustuloksia ovat julkaisseet **Huikari** (1974) ja **Veijalainen** (1975).



Kuva 1. Mänty, jonka pensasmainen latvus on muodostunut kuolleista ja elävistä oksista. (Kuva K. Kolari).

Figure 1. Scots pine with a bushy top part built up of dead and living branches. (Photo by K. Kolari).

Ilmiö voi esiintyä kaikenikäisissä puissa. Se voi esiintyä yksittäisissä puissa tai puuryhmissä. Kasvuhäiriöpuiden joukossa voi kuitenkin olla myös normaalisti kasvavia puita.

Tällaisten kasvuhäiriöiden syynä **Huikari** (1974) on arvellut olevan hivenaineiden puutteen. Saman hypoteesin on esittänyt myös **Veijalainen** (1975). Jatkolannoituksen on todettu lisänneen kasvuhäiriöiden esiintymistä (**Veijalainen** 1975).

Maataloudessa hivenaineiden puuteoireet on tunnettu jo hyvin kauan (**Stiles** 1958, **Hewitt** 1963, **Jamalainen** 1968, **Mengel** 1972). Maatalouspuolella tunnettuja hivenaineiden puuteoireita ovat mm. boorin puutteesta aiheutuva sokerijuurikkaan ydinmätä ja omenan kuoppatauti (**Jamalainen** 1968), sinkin puutteesta aiheutuva ruusukemuodostus (rosetting) (**Hewitt** 1963) sekä hedelmäpuilla ja viljakasveilla kuparin puutteesta aiheutuva kärjen kuoleminen (**Dunne** 1938, **Piper** 1942).

Vail ym. (1957, 1961) ovat kuvanneet havupuilla hivenaineiden puuteoireita Afrikassa sekä **Stoate** (1950) ja **Raupach** (1967) Australiassa ja Uudessa-Seelannissa. Useissa tutkimuksissa boorin puutteen on havaittu aiheuttavan eräillä mäntylajeilla kärkikasvupisteen kuolemisen (**Smith** 1943, **Hacskaylo** 1960, **Will** ym. 1963, **Stone** ja **Will** 1965). Samoin boorin puutteen on todettu aiheuttavan neulasten epämuodostumia (**Goslin** 1959, **Lanuza** 1966) ja vuosikasvainten halkeamia (**Stone** ja **Will** 1965). Sinkin puute on aiheuttanut havupuilla tupsumaisia vuosikasvaimia (rosetting), ts. kääpiöversojen väliset etäisyydet ovat jääneet normaalia lyhyemmiksi (**Stone** 1968). Kuparin puuteoireita on tavattu mm. *Picea sitchensis*-lajilla (**Benzian** ja **Warren** 1956). Selvin kuparin puuteoire tällä lajilla oli neulasten kärkien kuivuminen (»tipburn»).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata männyn (*Pinus silvestris* L.) kasvuhäiriön makroskooppisia oireita sekä vuosikasvaimissa ja neulasissa tapahtuneita anatomisia muutoksia. Näiden kausaalista tulkintaa varten on suoritettu ravinneanalyysejä vuoden 1976 neulasista.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

21. Makroskooppiset oireet

Havaintoja kasvuhäiriön makroskooppisista oireista tehtiin kesällä 1976 mm. Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusaseman Alkkiassa (Karvia) sijaitsevilla vanhoille suopelloille perustetuilla kokeilla, Leivonmäen Kivisuon koekentillä (entinen hydroturpeen nostokenttä) sekä Kankaanpään Niinisalossa sijaitsevalla Mäki-Korvalan tilan metsänviljelyalueella.

22. Mikroskooppiset oireet

Näytteet anatomisia tutkimuksia varten kerättiin heinäkuun loppupuolella 1976 Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusaseman Alkkian kokeelta no. 36, joka on perustettu vanhalle suopellolle toukokuussa 1967 sekä Kankaanpään Niinisalosta Mäki-Korvalan tilan metsänviljelyalueelta. Alkkiasta näytteet kerättiin ruuduilta, jotka olivat saaneet vuonna 1967 lannoituksena suometsien PK-lannosta (0-17-15) 100 g/juoksumetri taimirivin kohdalle 0,5 metrin levyiselle kaistalle (**K a u n i s t o** 1976a). Näytteenottoruuduille puusto on istutettu toukokuussa 1967 yhden metrin välein. Puuston keskipituus elokuussa 1976 oli 2,6 m. Mäki-Korvalan tilan metsänviljelyalue on perustettu vuonna 1963 ojitetulle ruohoiselle suursaranevalle. Alueella istutus on suoritettu vuonna 1965 2—2,5 metrin välein. Peruslannoitus on suoritettu vuonna 1966 suometsien Y-lannoksella (14-18-10) laikkulannoituksena n. 30 g/taimi (**K a u n i s t o** 1976b). Puuston pituus elokuussa 1976 oli keskimäärin 2,5—3 m.

Tutkittavaa materiaalia (vuoden 1976 latvakasvaimia ja latvakasvainten neulasia) kerättiin puista, joiden latvakasvaimissa oli selviä makroskooppisia kasvuhäiriön oireita sekä samalla alueella olevista normaalisti kasvavista puista. Lisäksi kerättiin kontrollimateriaalia Kankaanpään Niinisalosta isovarpuiselta rämeeltä. Kontrollimateriaalin keräysalueella ei esiintynyt lainkaan kasvuhäiriön makroskooppisia oireita. Mikroskooppista tarkastelua varten tehtiin käsivaraisesti partakoneen terällä poikkileikkauksia neulasten puolivälistä ja latvakasvainten tyveltä. Leikkeet värjättiin metyleeninsinisellä. Lisäksi tehtiin muutamia pitkittäisleikkauksia vuosikasvaimista.

23. Ravinneanalyysit

Neulasnäytteet ravinneanalyysejä varten kerättiin heinä—elokuun vaihteessa samoilta alueilta Alkkiasta ja Niinisalosta kuin materiaali anatomisiakin tutkimuksia varten. Neulaset kerättiin vuoden 1976 latvakasvaimista. Kunkin puun neulaset muodostivat oman näytteensä. Näytteitä kerättiin yhteensä 15 kasvuhäiriöpuusta, 17 kasvuhäiriöalueen normaalisti kasvavasta puusta ja 7 kontrollipuusta isovarpuiselta rämeeltä. Näytteistä määritettiin Viljavuuspalvelu

Oy:ssä seuraavat ravinteet: kokonaistyppi, liukoinen fosfori, vaihtuva kali, happoliukoinen sinkki, vesiliukoinen boori, happoliukoinen kupari, vaihtuva mangaani, vaihtuva magnesium ja vaihtuva kalsium.

Ravinneanalyysituloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon epätavallinen näytteenottoaika. Tavallisesti neulasnäytteet diagnostisia ravinneanalyysejä varten otetaan talvella (ks. **Tamm** 1955, **Wehrmann** 1959). Koska tässä tutkimuksessa kunkin puun latvakasvaimen neulaset muodostivat oman näytteen, jäi analysoitava kuiva-aineen määrä joissakin näytteissä pieneksi. Tämä saattaa vaikuttaa ravinneanalyysitulosten luotettavuuteen.

Niinisalon ja Alkkian materiaalit on käsitelty tilastollisesti erikseen, koska alueiden välillä oli havaittavissa selvä ero kasvuhäiriön makroskooppisissa oireissa. Ensin testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä eri ryhmien (kasvuhäiriöpuut, kasvuhäiriöalueen normaalisti kasvavat puut ja kontrollipuut) ravinnepitoisuuksien väliset erot kunkin ravinteen kohdalla erikseen. Tarkempi ryhmien välinen vertailu suoritettiin **Tukeyn** menetelmällä (**Guenther** 1964). Lisäksi suoritettiin regressioanalyysejä neulasten eri ravinteiden ja puun häiriöasteen välillä. Puun häiriöaste on saatu neulasten mikroskooppisten oireiden perusteella laskemalla yhteen viiden neulasen häiriöaste. Kunkin neulasen häiriöaste saatiin siten, että ensin luokiteltiin neulasen poikkileikkauksessa ilmenevät anatomiset vauriot (transfuusiosolukkoon muodostuneen ontelon koko, sklerenkyymin määrä ja epämuodostuneiden solujen määrä) nollasta kolmeen (0—3). Sen jälkeen saatiin neulasen häiriöaste laskemalla yhteen ontelon koko painotettuna kolmella (ontelon koko painotettiin kolmella, koska se on neulasessa mm. aineiden kuljetuksen kannalta pahin vaurio muihin oireisiin nähden), epämuodostuneiden solujen määrä ja 3 — sklerenkyymin määrä (sklerenkyymin määrä vähennettiin kolmesta, koska täysin terveen neulasen transfuusiosolukossa sklerenkyymin määrä ko. luokituksen mukaan on juuri kolme). Neulasen vaurioaste voidaan esittää täten kaavana: 3 × ontelon koko + epämuodostuneiden solujen määrä + 3 — sklerenkyymin määrä.

Aineistoa tarkasteltaessa havaittiin, että puiden häiriöasteen ja neulasten ravinnepitoisuuksien välinen kuvaaja olisi käyräviivainen. Toisaalta puun häiriöaste ja neulasten ravinnepitoisuudet ovat aina positiivisia lukuja, ts. niiden välistä riippuvuutta kuvaava käyrä ei leikkaa X- eikä Y-akselia. Näin ollen suora ei kuvaa parhaiten ko. riippuvuutta. Tämän vuoksi käytettiin regressioanalyysissä käyräviivaista mallia ($y = a\ X^b$) (ks. myös **Mitscherlich** 1909).

3. TULOKSET

31. Makroskooppiset oireet

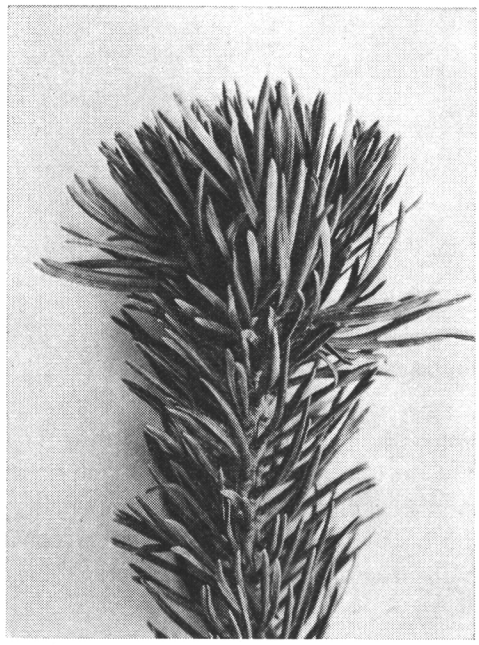
Kasvuhäiriön ensimmäisiä ulkoisia oireita oli mm. latvakasvaimen haarautuminen. Vuosikasvain voi olla haarautunut kahteen, kolmeen tai jopa neljään osaan. Haarautumiskohta voi sijaita missä kohden vuosikasvainta tahansa. Joissakin tapauksissa kasvuhäiriöpuilla oli havaittavissa haarautuneiden vuosikasvainten laakautumista (faskiaatio). Vuosikasvainten haarautumista esiintyi runsaasti Alkkiassa ja Kivisuolla.

Mäki-Korvalan tilan metsänviljelyalueella kasvuhäiriön yleisimpinä ulkoisina oireina olivat erilaiset tupsumuodostumat. Sen sijaan Alkkian ja Kivisuon koekentillä niitä esiintyi harvemmin. Tupsumainen vuosikasvain muodostuu, kun nivelvälien lyhenemisen vuoksi kääpiöversojen väliset etäisyydet jäävät normaalia lyhyemmiksi (kuva 2). Nivelvälit voivat jäädä myös vain jossakin vuosikasvaimen osassa, esim. vuosikasvaimen tyvellä, normaalia lyhyemmiksi. Latvakasvaimen nivelvälien jäädessä vain hieman normaalia lyhyemmiksi latvakasvain jää sivukasvaimia lyhyemmäksi (kuva 3). Tupsumaisen vuosikasvaimen kärkikasvupiste oli joissakin tapauksissa kuollut. Tällöin kääpiöversojen kärkikasvupisteet, jotka normaalisti surkastuvat, ovat usein alkaneet kasvaa. Näistä vähitellen kehittyvät kasvaimet muodostavat kärkensä menettäneen vuosikasvaimen yläosaan sykerön (kuva 4). Sykerö ei välttämättä aina synny tupsumuodostumasta, vaan pelkkä kasvaimen kärjen kuoleminen voi johtaa sykerön syntymiseen. Erilaiset sykeröt olivat yleisiä Alkkian koekentillä.

Muutamissa kasvuhäiriöpuissa Alkkiassa havaittiin vuosikasvainten kehityksen pysähtyneen kesken kasvukautta. Tällöin kasvu oli alkanut keväällä normaalisti, mutta myöhemmin pituuskasvu ja neulasten kehittyminen pysähtyi. Eräissä tapauksissa vuonna 1976 ei tapahtunut lainkaan pituuskasvua, koska vuoden 1975 vuosikasvaimen kärkisilmu oli kuollut.

Edellä kuvattuja harvinaisempia oireita olivat erilaiset vuosikasvainten epänormaalit paksuuntumat ja ytimeen saakka ulottuvat halkeamat.

Kasvuhäiriöpuiden neulasista tavallisesti osa oli epämuodostuneita. Neulaset saattoivat olla tanakoita, tummanvihreitä ja spiraalimaisesti käyristyneitä tai pituudeltaan vaihtelevia, eri suuntiin harittavia (kuva 5). Joskus kääpiö-



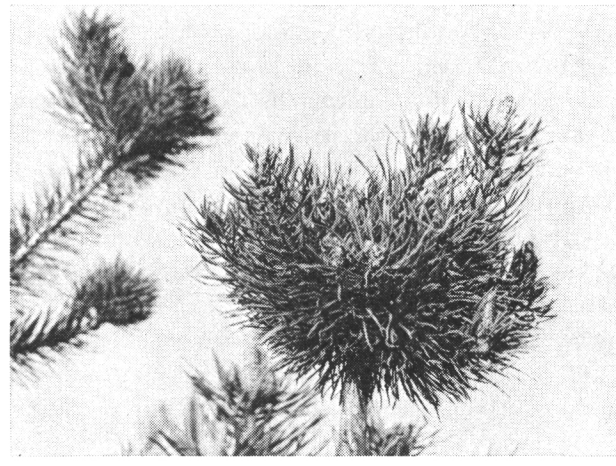
Kuva 2. Tupsumainen latvakasvain, jossa kääpiöversojen väliset etäisyydet jääneet normaalia lyhyemmiksi. (Kuva H. R. & E-M. R.).

Figure 2. Tuft-formed leader with abnormally shortened dwarf shoot internodes. (Photo by H. R. & E-M. R.).



Kuva 3. Latvakasvain jäänyt lateraalikasvaimia lyhyemmäksi. (Kuva H. R. & E-M. R.).

Figure 3. Pine with the leader shoter than the lateral shoots. (Photo by H. R. & E-M. R.).



Kuva 4. Lukuisten lyhyiden vuosikasvaimien muodostama sykerö. (Kuva K. Kolari).

Figure 4. Cluster formed by several abnormally shortened shoots. (Photo by K. Kolari).

versojen neulaset eivät olleet toisistaan erillään, vaan ikään kuin toisiinsa kärjestään liimautuneina (kuva 6). Neulasissa esiintyi myös erilaisia kloroottisia ja nekroottisia pilkkuja ja vöitä. Kasvuhäiriöpuilla esiintyi usein 3—4 neulasta yhdessä kääpiöversossa. Neulasten epämuodostumia oli usein havaittavissa jo ennen kuin muita ulkoisia oireita ilmeni.

32. Mikroskooppiset oireet

Vuosikasvaimen ydin ja kärkisilmut

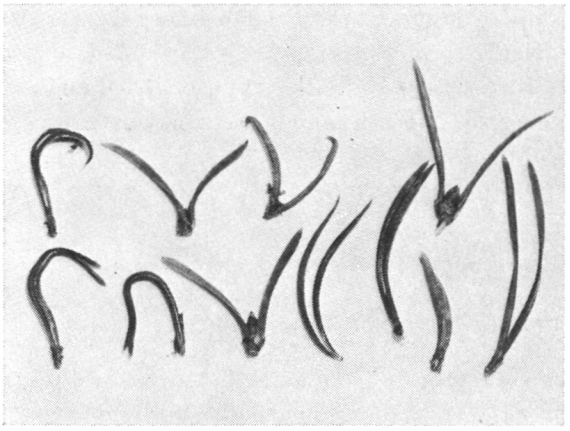
Kasvuhäiriöpuiden latvakasvaimen ytimessä oli usein havaittavissa solukkojen ruskettumista. Ydinsolukon ruskettuminen ilmeni erilaisina pieninä laikkuina tai pahimmassa tapauksessa ydin koko kasvaimen pituudelta oli ruskea. Ruskettuminen alkoi tavallisesti kuolleen kärkikasvupisteen alapuolelta.

Toinen selvästi havaittava oire kasvuhäiriöpuiden ydinsolukossa oli onteloiden muodostuminen (kuva 7). Ontelon ympärillä oli ohutseinäisiä hypertrofisia soluja (kuva 8), joita oli nähtävissä ydinsolukossa jo ennen ontelon muodostumista. Ontelo on todennäköisesti syntynyt näiden solujen rikkoutuessa.

Solukkojen kuolemista ja onteloiden muodostumista ilmeni myös eri kehitysvaiheissa olevissa silmuissa.

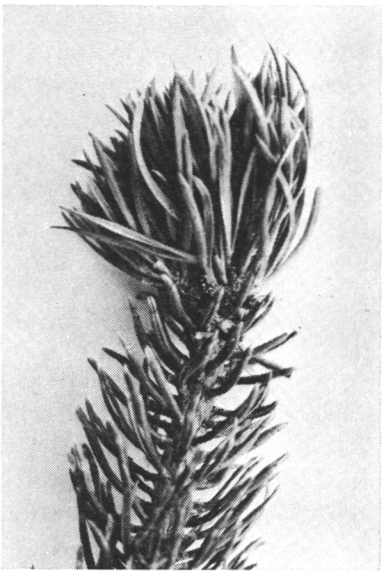
Neulaset

Kasvuhäiriöpuiden samoin kuin kasvuhäiriöalueella normaalisti kasvavien puiden neulasten poikkileikkauksista havaittiin neulasten sisärakenteen poikkeavan terveiden puiden (kontrolli) neulasten sisärakenteesta. Kasvuhäiriöalueen puiden neulasten transfuusiosolukossa oli onteloita ja epämuodostuneita soluja. Sklerenkyymiä oli vähemmän ja se oli yleensä heikommin puutunutta kuin terveiden puiden neulasissa (kuvat 9 ja 10). Epämuodostuneet solut olivat rakenteeltaan samanlaisia hypertrofisia, ohutseinäisiä soluja kuin vuosikasvaimen ytimessäkin (kuva 11). Tavattiin myös joitakin ohutseinäisiä, osittain kokoonpuristuneita poimureunaisia soluja (kuva 12). Useimmat epämuodostuneet solut olivat kuitenkin isoja ja pullistuneita. Neulasten transfuusiosolukossa olevat ontelot ovat todennäköisesti syntyneet juuri epämuodostuneiden solujen rikkoutuessa. Tähän viittaa ontelon seinämillä olevat suuret hypertrofiset solut. Ontelon koko oli hyvin vaihteleva. Pahimmassa tapauksessa ontelo saattoi ulottua johtojänteestä toiseen, jopa niin, että aineiden kulkeutuminen johtojänteistä ja johtojänteisiin lienee osittain estynyt. Kasvuhäiriöpuiden ja kasvuhäiriöalueella normaalisti kasvavien puiden neulasissa sklerenkymaattista solukkoa oli yhteensä vähemmän kuin täysin terveissä neulasissa. Sklerenkyymi oli monesti pieninä erillisinä »laikkuina», eikä yhtenäisenä solukkona kuten täysin terveissä neulasissa.



Kuva 5. Epämuodostuneita männyn neulasia. (Kuva H. R. & E-M. R.).

Figure 5. Distorted pine needles. (Photo by H. R. & E-M. R.).



Kuva 6. Tupsumainen vuosikasvain. Vuoden 1975 kääpiöversojen neulaset toisiinsa kiinnittyneinä. (Kuva H. R. & E-M. R.).

Figure 6. Tuft-formed shoot. »Fused» needles in the dawrf shoot of 1975. (Photo by H. R. & E-M. R.).



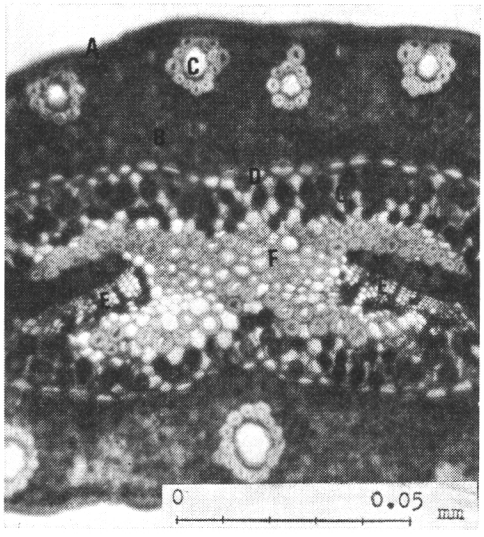
Kuva 7. Latvakasvaimen ytimeen muodostunut ontelo. (Kuva H. R. & E-M. R., kesäkuu 1976, 6.4 x).

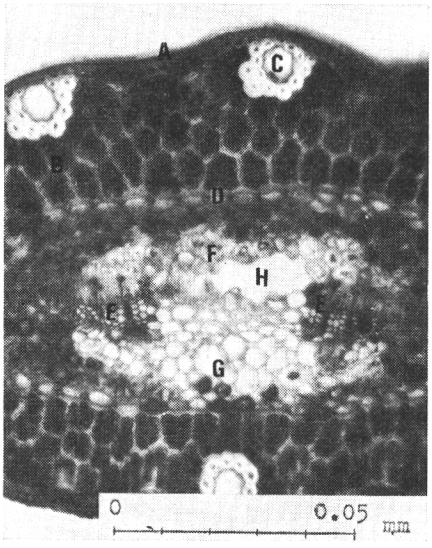
Figure 7. Cavity in the pith of the leader. (Photo by H. R. & E-M. R., June 1976, 6.4 x).



Kuva 8. Pitkittäisleikkaus latvakasvaimen ytimeen muodostuneesta ontelosta. (Kuva H. R. & E-M. R., kesäkuu 1976, 40 x).

Figure 8. Longitudinal section of a cavity in the pith of the leader. (Photo by H. R. & E-M. R., June 1976 40x).





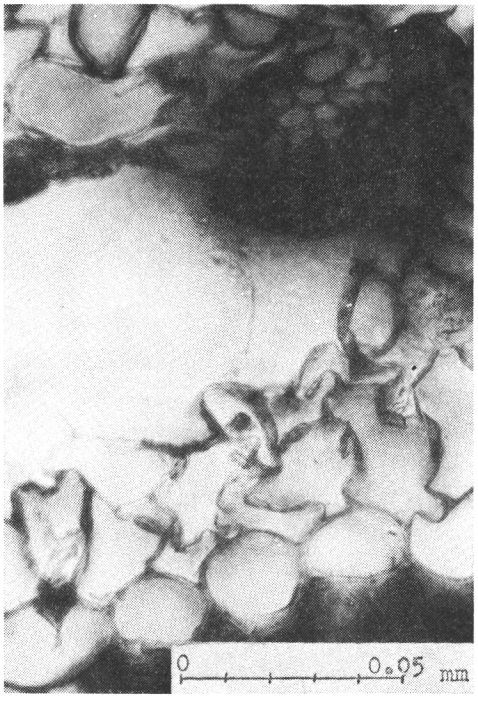
Kuvat 9. ja 10. Poikkileikkaus terveen puun ja kasvuhäiriöpuun neulasesta. A) epidermi, B) mesofylli, C) pihkatiehyt, D) endodermi, E) johtojänne, F) sklerenkyymi, G) transfuusiosolukko ja H) ontelo. (Kuva H. R. & E-M. R., lokakuu 1976).

Figures 9 and 10. Transections of a normal needle and of a disturbed needle. A) epidermis, B) mesopyll, C) resin duct, D) endodermis E) vascular bundle, P) sclerenchyma, G) transfusion tissue H) cavity. (Photo by H. R. & E-M. R., October 1976).



Kuva 11. Kasvuhäiriöpuun neulasen transfuusiosolukon hypertrofisia soluja. (Kuva H. R. & E-M. R., joulukuu 1976).

Figure 11. Hypertrophic cells in the transfusion tissue of a disturbed needle. (Photo by H. R. & E-M. R., December 1976).



Kuva 12. Kasvuhäiriöpuun neulasen transfuusiosolukkoon muodostuneen ontelon seinämillä ohutseinäisiä, osittain kokoonpuristuneita poimureunaisia soluja. (Kuva H. R. & E-M. R., elokuu 1976).

Figure 12. Thin-walled, partly compressed and wrinkled cells along the walls of a cavity in the transfusion tissue of a disturbed needle. (Photo by H. R. & E-M. R., August 1976).

Taulukko 1. Mikroskooppisten oireiden esiintymisrunsaus Alkkian ja Niinisalon materiaaleissa.

Table 1. Frequency of microscopic symptoms in Alkkia and Niinisalo materials.

Näytteen keräyspaikka	Niinisalo			Alkkia	
Näyteryhmä	Terveet	Terveennäköiset	Kasvuhäiriöpuut	Terveennäköiset	Kasvuhäiriöpuut
Näytepuita kpl/ leikkeitä kpl	7/35	12/50	12/50	5/25	5/25
Onteloiden esiintymisrunsaus prosentteina (%)[1]	—	86,7	81,7	12,0	28,0
Epämuodostuneiden solujen esiintymisrunsaus prosentteina (%)[1]	8,6	83,3	60,0	48,0	68,0
Sklerenkyymin määrä (arvioituna 0—3)	2,94±0,24	2,55±0,56	2,30±0,67	2,80±0,41	2,24±0,72

[1]) laskettuna leikkeiden määrästä

Taulukosta 1 ilmenee, että havaitut mikroskooppiset oireet esiintyivät lähes yhtä runsaina kasvuhäiriöalueen normaalisti kasvavissa puissa kuin kasvuhäiriöpuissakin. Makro- ja mikroskooppisten oireiden perusteella olikin erotettavissa kolme ryhmää: 1) täysin terveet männyt, 2) terveennäköiset männyt, joissa oli jo havaittavissa mikroskooppisia kasvuhäiriön oireita sekä 3) kasvuhäiriöpuut, joissa oli sekä makroskooppisia että mikroskooppisia oireita.

33. Ravinneanalyysitulokset

Analyysitulokset osoittivat, että Alkkiassa kasvuhäiriöpuiden, terveennäköisten puiden ja kontrollipuiden neulasten typpi-, fosfori-, boori-, sinkki- ja mangaanipitoisuudet poikkesivat tilastollisesti toisistaan (taulukot 2 ja 3). Niinisalossa eri ryhmien väliset erot olivat tilastollisesti merkitseviä kaikkien edellämainittujen ravinteiden suhteen kuparia lukuunottamatta. Typpeä, fosforia ja mangaania oli sekä Alkkian että Niinisalon materiaalissa enemmän kasvuhäiriöalueen puiden neulasissa kuin täysin terveiden puiden neulasissa. Alkkian materiaalissa booria, sinkkiä ja kuparia oli enemmän täysin terveiden puiden neulasissa kuin kasvuhäiriöpuiden ja terveennäköisten puiden neulasissa. Niinisalossa tilanne oli sama ainoastaan sinkin kohdalla.

Alkkian materiaalissa neulasten mikroskooppisten oireiden perusteella lasketun puiden häiriöasteen kanssa korreloivat tilastollisesti merkitsevästi neu-

Taulukko 2. Neulasten ravinnepitoisuudet Alkkian ja Niinisalon materiaaleissa 26. 7. 1976.

Table 2. Nutrient content of needles in Alkkia and Niinisalo materials on 26. 7. 1976.

Materiaali	ALKKIA		NIINISALO		
	Terveennäköiset	Kasvuhäiriöpuut	Terveet	Terveennäköiset	Kasvuhäiriöpuut
Näytt. kpl / Anal. ravinne	5	5	7	12	12
N_{tot} %	1,72±0,12	1,74±0,14	1,44± 0,12	1,53±0,13	1,67± 0,19
P liuk. ‰	2,85±0,29	2,47±0,36	2,12± 0,18	2,66±0,24	2,64± 0,19
K vaiht. ‰	7,97±0,93	7,31±1,05	7,59± 1,07	8,73±1,17	8,46± 1,06
Mg vaiht. ‰	1,38±0,16	1,41±0,28	1,43± 0,13	1,20±0,19	1,30± 0,32
Ca vaiht. ‰	0,58±0,13	0,70±0,36	0,69± 0,11	0,65±0,12	0,76± 0,16
B vesil. ppm	2,66±0,18	2,12±0,48	4,11± 0,59	3,7 ±0,72	4,49± 0,85
Zn happol. ppm	39,7 ±4,7	38,8 ±6,3	61,4 ±23,4	47,9 ±9,24	49,6 ±10,9
Cu happol. ppm	2,16±0,30	2,76±0,87	4,2 ± 0,96	3,28±1,06	3,24± 0,99
Mn vaiht. ppm	364±115	352±128	187±53	279±114	316±73

lasten typpi-, fosfori-, booni- ja sinkkipitoisuus sekä Niinisalon materiaalissa neulasten typpi-, fosfori-, kali-, magnesium- ja sinkkipitoisuus (talukko 4). Puiden häiriöasteen kasvaessa neulasten typpi-, fosfori- ja kalipitoisuus lisääntyi. Häiriöasteen ja neulasten booripitoisuuden välistä regressiota kuvaamaan saatiin Alkkian materiaalissa yhtälö (1) (kuva 13).

Alkkia (1) $y = 93.76\ X_B^{-3.72}$ ($r^2 = 51.41$ %)

Taulukko 3. Varianssianalyysissä saadut F-arvot ja TUKEYn testitulokset Alkkian ja Niinisalon materiaaleista.

Table 3. Results of analysis of variance and TUKEY test in Alkkia and Niinisalo materials.

Materiaali / Anal. ravinne	ALKKIA F-arvo ja merkitsevyys	ALKKIA Tukeyn testi: Terveet	Terveennäköiset	Kasvuhäiriöpuut	NIINISALO F-arvo ja merkitsevyys	NIINISALO Tukeyn testi: Terveet	Terveennäköiset	Kasvuhäiriöpuut
N_{tot}	10,48**	1,44	1,72	1,74	5,32*	1,44	1,53	1,67
P liuk.	10,77**	2,12	2,85	2,47	17,61***	2,12	2,66	2,64
K vaiht.	0,53				2,42			
Mg vaiht.	0,12				2,07			
Ca vaiht.	0,52				1,84			
B vesil.	16,07***	4,11	2,66	2,12	3,33*	4,11	3,7	4,49
Zn happol.	29,18***	61,4	39,7	38,9	4,97*	61,4	47,9	49,6
Cu happol.	9,96**	4,16	2,14	2,76	2,14			
Mn vaiht.	6,27*	187	364	325	4,85*	186	279	317

Puiden häiriöasteen ja neulasten sinkkipitoisuuden välistä regressiota kuvaamaan saatiin yhtälöt (2) ja (3) (kuvat 15 ja 17).

Alkkia (2) $y = 13.26 \cdot 10^8 \; X_{Zn}^{-5.31}$ ($r^2 = 50.41$ %)

Niinisalo (3) $y = 3.86 \cdot 10^{10} \; X_{Zn}^{-5.71}$ ($r^2 = 44.89$ %)

Regressioyhtälöistä havaitaan, että puiden häiriöasteen kasvaessa neulasten boori- ja sinkkipitoisuudet pienenevät. Neulasten sinkki- ja fosforipitoisuuden välisen suhteen (Zn/P) kasvaessa puiden häiriöaste pienenee, kuten yhtälöistä (4) ja (5) ilmenee (kuvat 16 ja 18).

Alkkia (4) $y = 112.76 \; X_{Zn/P}^{-1.40}$ ($r^2 = 38.44$ %)

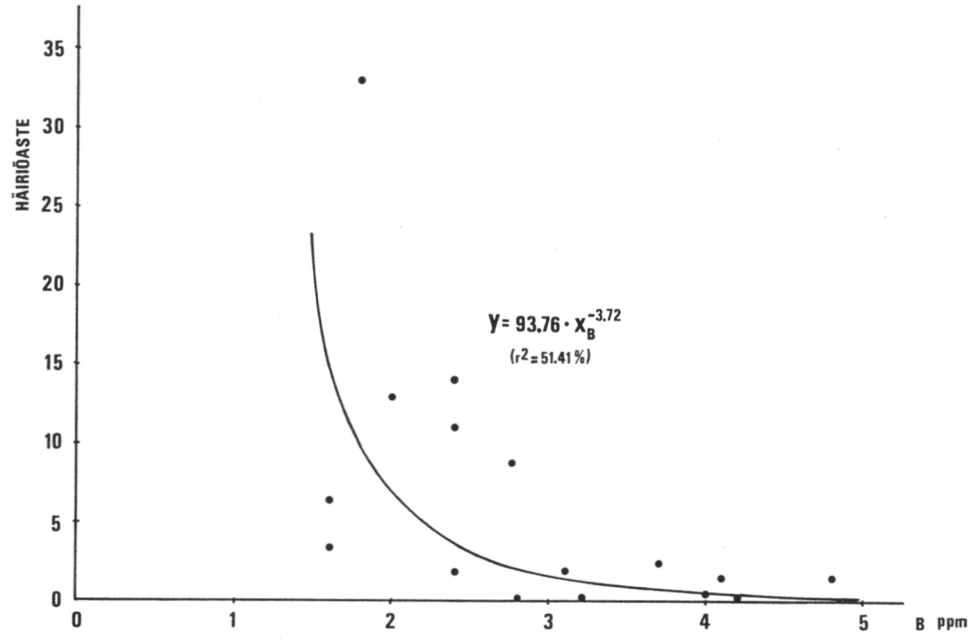
Niinisalo (5) $y = 86.04 \cdot X_{Zn/P}^{-5.40}$ ($r^2 = 70.56$ %)

Samanlainen vuorovaikutus ilmeni myös Alkkian materiaalissa puiden häiriöasteen ja neulasten boori- ja kalsiumpitoisuuden välisen suhteen (B/Ca) välillä (kuva 14).

Taulukko 4. Männyn häiriöasteen ja neulasten eri ravinteiden väliset korrelaatiot Alkkian ja Niinisalon materiaaleissa.

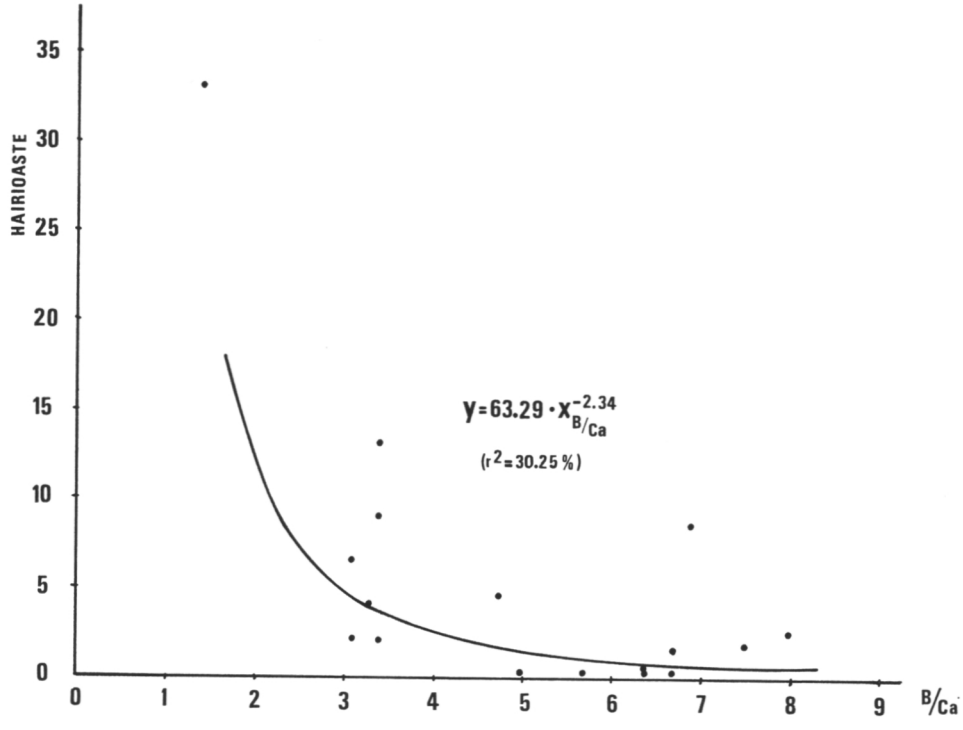
Table 4. Regressions between of disturbance of Scots pine and nutrient content of needles in Alkkia and Niinisalo materials.

Analysoitu ravinne	Alkkian materiaali	Niinisalon materiaali
N_{tot}	0,80***	0,35*
P liuk.	0,54*	0,78***
K vaiht.	0,03	0,38*
Mg vaiht.	−0,21	−0,41*
Ca vaiht.	−0,04	0,02
B vesil.	−0,71**	−0,13
Zn happol.	−0,71**	−0,67***
Cu happol.	−0,39	−0,30
Mn vaiht.	0,24	0,18



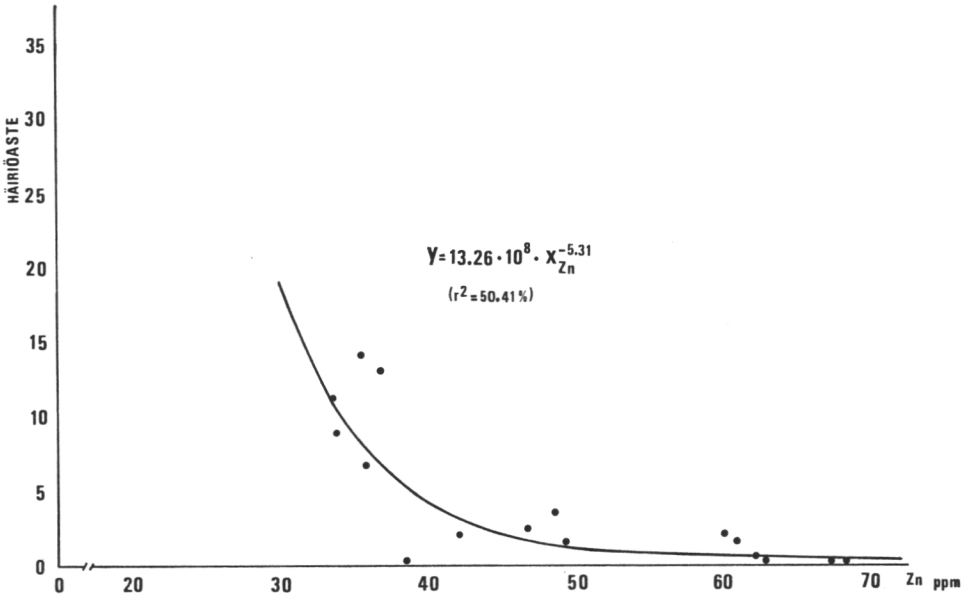
Kuva 13. Männyn häiriöasteen ja neulasten booripitoisuuden välinen regressio. Alkkian materiaali.

Figure 13. Regression between degree of disturbance and boron content of needles. Alkkia material.



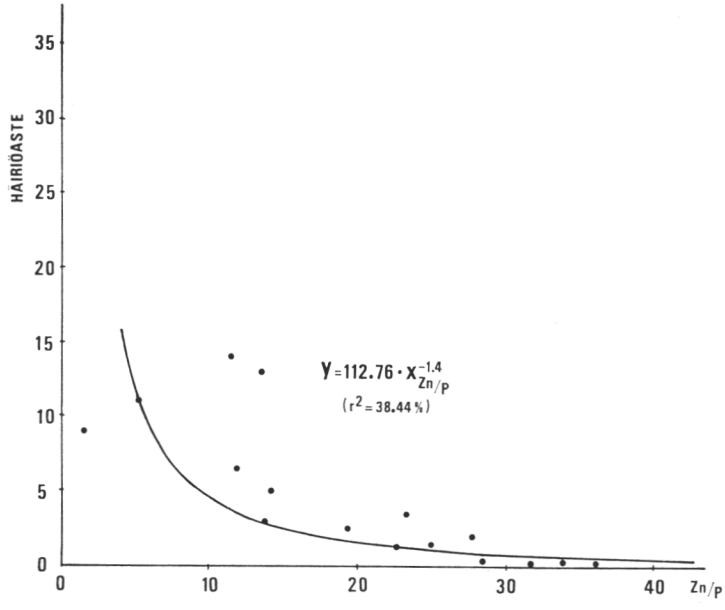
Kuva 14. Männyn häiriöasteen ja neulasten boori- ja kalsiumpitoisuuden välisen suhteen välinen regressio. Alkkian materiaali.

Figure 14. Regression between degree of disturbance and boron/calcium-ratio of needles. Alkkia material.



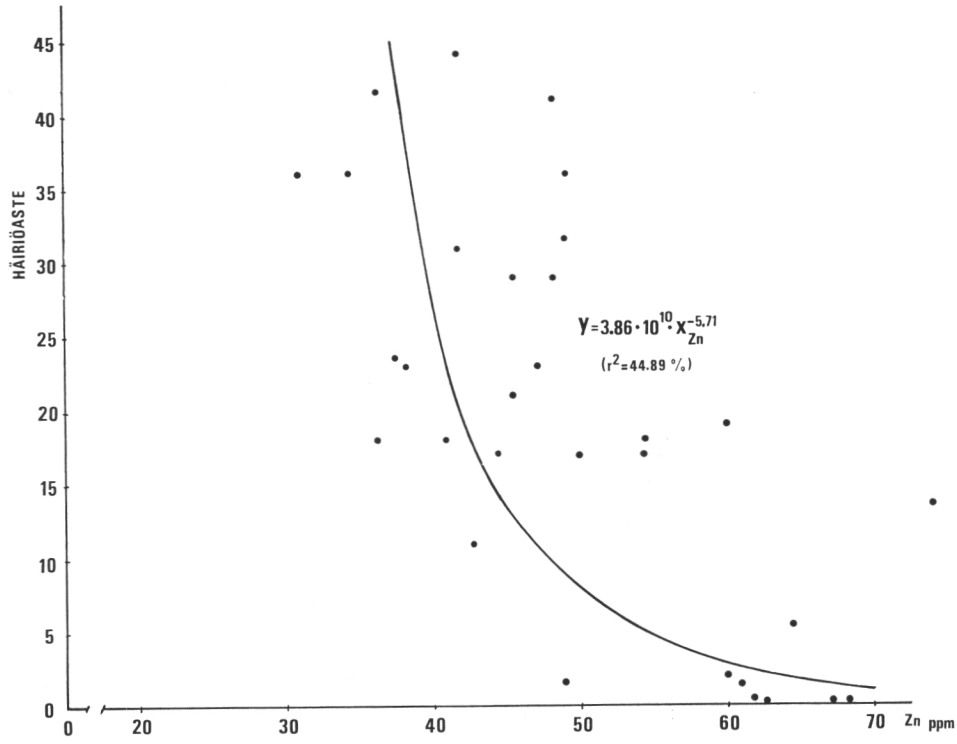
Kuva 15. Männyn häiriöasteen ja neulasten sinkkipitoisuuden välinen regressio. Alkkian materiaali.

Figure 15. Regression between degree of disturbance and zinc content of needles. Alkkia material.



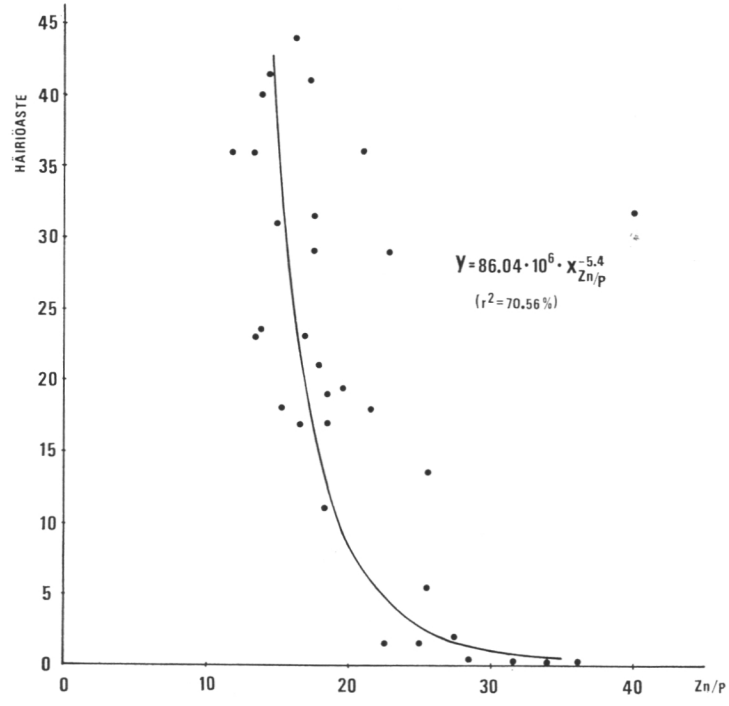
Kuva 16. Männyn häiriöasteen ja neulasten sinkki- ja fosforipitoisuuden välisen suhteen välinen regressio. Alkkian materiaali.

Figure 16 Regression between degree of disturbance and zinc/phosphorus-ratio of needles. Alkkia material.



Kuva 17. Männyn häiriöasteen ja neulasten sinkkipitoisuuden välinen regressio.Niinisalon materiaali.

Figure 17. Regression between degree of disturbance and zinc content of needles. Niinisalo material.



Kuva 18. Männyn häiriöasteen ja neulasten sinkki- ja fosforipitoisuuden välisen suhteen välinen regressio. Niinisalon materiaali.

Figure 18. Regression between degree of disturbance and zinc/phosphorus-ratio of needles. Niinisalo material.

4. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimusten perusteella saatiin kolme luokkaa: 1) täysin terveet männyt, 2) terveennäköiset männyt, joissa oli jo havaittavissa mikroskooppisia kasvuhäiriöoireita sekä 3) männyt, joissa oli mikroskooppisten oireiden lisäksi myös makroskooppisia oireita. Rakennevaurioita esiintyi siis jo ennen, kuin ulkoisia (makroskooppisia) oireita voitiin havaita. Käyttämäämme anatomista tutkimusmenetelmää voitaneen näin ollen soveltaa kasvuhäiriön ennakoimiseen. On kuitenkin huomattava, että käyttämämme menetelmä ei ole suoraan kentällä sovellettavissa, vaan se on laboratoriomenetelmä, joka tosin on toteutettavissa jo melko alkeellisella mikroskoopilla.

Makroskooppisten ja mikroskooppisten oireiden perusteella kyseessä näyttää olevan hivenravinteiden puute, koska kuvatun kaltaiset oireet mainitaan lukuisissa tutkimuksissa hivenravinteiden puutteen aiheuttamiksi. Tätä olettamusta tukevat myös anatomisesti tutkituista neulasista suoritetut ravinneanalyysit. Tutkituissa materiaaleissa ravinneanalyysien perusteella kasvuhäiriön kannalta ratkaisevimmat hivenravinteet näyttävät olevan boori, sinkki ja kupari.

Monilla hedelmäpuilla sinkin puutteen on todettu aiheuttavan muutoksia lehden koossa ja morfologiassa (**Hoagland** ym. 1935, **Chandler** 1937, **Davidson** 1941). Sinkin puutteesta johtuen lehden koko pienenee (**Chapman** ym. 1937, **Davidson** 1941, **Camp** ym. 1941) ja lehden laita on usein aaltomaisesti käyristynyt (**Davidson** 1942). Lisäksi ilmenee suonten välistä kloroosia ja nekroosia (**Hoagland** ym. 1935). Eräillä viljelykasveilla ja hedelmäpuilla on havaittu sinkin puuteoireena myös nivelvälien pienenemistä (rosetting) (**Chandler** ym. 1932, 1933, 1934, **Chandler** 1937, **Brown** ja **Wilson** 1952).

Havupuilla sinkin puuteoireita on tavattu mm. Länsi- ja Etelä-Australiassa (**Stoate** 1950). Havupuilla yleisimmät sinkin puuteoireet ovat nuorien neulasten pronssinhohtoinen väri, varsinkin oksien kärjissä, ruusukemuodostus (rosetting) ja sairaiden kasvaimien kuoleminen (**Stone** 1968). Kärkikasvaimen kuoltua puusta tulee vähitellen pensasmainen (**Kessel** ja **Stoate** 1936, **Smith** ja **Bayliss** 1942, **Stoate** 1950, **Stone** 1968). Kärkikasvupisteen kuolemista on tavattu muillakin sinkin puutteesta kärsivillä kasveilla (**Brown** ja **Wilson** 1952, **Wallace** 1961).

Kasvuhäiriöpuilla tavatut tupsumaiset vuosikasvaimet viittaisivat täten sinkin puutteeseen. Tupsumainen vuosikasvain edustaa syntytavaltaankin ns. ruusukemuodostusta (rosetting). Eniten tupsumaisia vuosikasvaimia oli Niinisalon metsänviljelyalueella. Sen sijaan Alkkiassa ja Kivisuolla niitä oli huomattavasti vähemmän. Ravinneanalyysitulokset tukevat myös käsitystä, että Niinisalossa kasvuhäiriön syynä olisi sinkin puute. Lievään sinkin puutteeseen viittaa myös tulos Alkkian osalta.

Sinkin puutteen aiheuttamia histologisia ja anatomisia muutoksia tomaatin lehden rakenteessa ovat tutkineet mm. **Reed** (1938, 1939) ja **Carlton** (1954). Sinkin puutteesta kärsivän tomaatin lehden pylvästylpyn ja hohkatylpyn solut olivat hypertrofisia. Solujen hypertrofiasta johtuen soluvälit puuttuivat kokonaan. **Millikan** (1953) on todennut pellavalla sinkin puutteen aiheuttavan varren kärjen ruskettumista, mikä johtuu ytimen parenkymaattisten solujen nekroosista. Ytimen ruskettumista seuraa epidermin ja johtosolukkojen nekroosi. Kasvuhäiriöpuiden neulasten transfuusiosolukon hypertrofiset solut ja vuosikasvaimien ydinsolukon ruskettuminen viittaisivat näin ollen myös sinkin puutteeseen.

Kuparin puuteoireet on jo kauan tunnettu mm. hedelmäpuilla ja viljakasveilla (esim. **Anderssen** 1932, **Piper** 1942). Kuparin puutteesta kärsivillä hedelmäpuilla lehdet ovat eri tavalla käyristyneitä ja kiertyneitä. Lehdissä esiintyy suonten välisiä kloroottisia pilkkuja. Lehtien kärjet ovat tavallisesti kuolleet (**Anderssen** 1932, **Oserkovsky** ja **Thomas** 1938, **Wade** 1944). Eräillä hedelmäpuulajeilla esiintyy kuparin puuteoireena myös verson kärjen kuoleminen. Kuolleen kärjen alapuolelta puhkeaa lukuisia uusia silmuja, joista kasvaa uusia haaroja. Puun latvus kehittyy tällöin pensasmaiseksi (**Anderssen** 1932, **Camp** ym. 1941, **Wade** 1944).Viljakasveilla kuparin puute ilmenee nuorissa lehdissä. Lehdet ovat veltot, kloroottiset, kiertyneet ja kärjestään valkeat. Kuparin puutteesta viljojen kärkikasvupiste kuolee ja tähkän muodostus estyy (**Piper** 1942). Havupuilla kuparin puute ilmenee kärkisilmujen kuolemisena, kärjestään kuivuneina ja spiraalimaisesti kiertyneinä neulasina (**Benzian** ja **Warren** 1956, van **Goor** ja **Henkens** 1966, **Oldercamp** ja **Smilde** 1966). **Stonen** (1968) mukaan kuparin puuteoireet eivät yleensä ole erityisen spesifisiä muiden hivenravinteiden oireisiin verrattuna.

Kuparin puutteen aiheuttamia anatomisia ja histologisia oireita tomaatin lehdissä on kuvannut **Reed** (1939). Ensimmäisinä oireina oli havaittavissa pylvästylppyyn syntyvät ontelot, jotka olivat erittäin laajoja solunvälejä.

Tämän tutkimuksen kasvuhäiriöpuilla kuparin puutteeseen viittaavat kärkisilmujen ja kärkikasvupisteiden kuoleminen, erilaiset sykeröt sekä neulasten spiraalimainen kiertyminen. Sen sijaan neulasten transfuusiosolukkoon muodostuneet ontelot ovat selvästi eri tavalla syntyneet kuin mitä **Reed**in (1939) tutkimilla kuparin puutteesta kärsivillä tomaateilla. Vahvasti kuparin puuttee-

seen eivät viittaa myöskään ravinneanalyysit. Ainoastaan Alkkian materiaalissa kasvuhäiriön syynä näyttäisi olevan lievä kuparin puute.

Männyn kasvuhäiriön makroskooppisista oireista kärkikasvupisteiden ja/tai kärkisilmujen kuoleminen, puun pensasmaisuus, halkeamien muodostuminen sekä neulasten epämuodostumat viittaavat boorin puutteeseen. Olettamusta tukee mm. **Bussler**in (1964) 49 koekasvilla kuvaamat boorin puuteoireet, joista huomattavimmat olivat kärkikasvupisteiden kuoleminen, onteloiden tai korkkisolukon muodostuminen kärkikasvupisteeseen, ruusukemuodostus (rosetting), varren paksuuntuminen, ytimen halkeilu, hankasilmujen kasvu, pensasmaisuus, silmujen variseminen, lehtisuonten asymmetria, lehtisuonten haarautuminen ja muutokset lehtimuodoissa. Havupuilla boorin puuteoireita on kuvattu Pohjois-Rhodesiassa (**Vail** ym. 1957, 1961, **Savory** 1962), Uudessa-Seelannissa (**Will** ym. 1963, **Stone** ja **Will** 1965), Australiassa (**Raupach** 1967) ja Brasiliassa (van **Goor** 1965, 1966). Hyvin yleinen boorin puuteoire *Pinus*-lajeilla on latvakasvainten, kärkikasvupisteiden tai kärkisilmujen kuoleminen (**Smith** 1943, **Hacskaylo** 1960, **Stone** ja **Will** 1965, **Snowdon** 1971). Neulasten epämuodostumia boorin puuteoireena ovat kuvanneet mm. **Ludbrook** (1940), **Goslin** (1959) ja de **Lanuza** (1966). **Goslin**in (1959) mukaan boorin puutteesta kärsivillä männyillä *(P. silvestris)* neulaset ovat kierteisiä, kärjestään taittuneita tai koukkumaisia (ks. myös de **Lanuza** 1966, **Veijalainen** 1975).

Mikroskooppisista oireista onteloiden muodostuminen viittaa selvimmin juuri boorin puutteeseen, koska huomattavimpana boorin puutteen aiheuttamana anatomisena oireena yleensä esitetään onteloiden ja halkeamien muodostuminen (**Reed** 1947, **Wallace** 1961, **Bussler** 1964, **Blaser** ym. 1967, **Jamalainen** 1968). Ontelo syntyy todennäköisesti ohutseinäisten solujen rikkoutuessa (**Stiles** 1958).

Mikroskooppisista oireista myös solukkojen ruskettuminen, solujen hypertrofia sekä tukisolukkojen heikko puutuneisuus viittaavat boorin puutteeseen. **Stone** ja **Will** (1965) ovat havainneet boorin puutteesta kärsivillä *Pinus radiata-* ja *P. Pinaster-*lajeilla latvakasvaimen kuolleen osan alapuolella ydinsolukossa ruskeita pilkkuja (ks. myös **Stone** & **Baird** 1956). Ydinsolukon ruskettumista on todettu muillakin boorin puutteesta kärsivillä kasveilla (**Wallace** 1961). **Bussler**in (1964) tutkimilla 49 kasvilajilla yksittäisten parenkymaattisten solujen epänormaali kasvu aiheutui boorin puutteesta. Samoin **Reed** (1947) mainitsee boorin puutteen aiheuttaneen mm. sellerillä lehtiruodin parenkymaattisten solujen hypertrofiaa. **Bussler** (1964) on lisäksi todennut, että boorin puutteesta kärsivillä auringonkukilla ja värinokkosilla sklerenkyymiä oli vähemmän kuin terveillä yksilöillä. **Dutta** & **McIlrath** (1964) onkin todennut boorin puutteen vaikeuttavan puutumistapahtumaa.

Tutkituissa materiaaleissa boorin puutteeseen viittaavia oireita eniten oli Alkkiassa. Ravinneanalyysitulokset osoittivat myös, että nimenomaan Alkkiassa kasvuhäiriön syynä olisi boorin, sinkin ja mahdollisesti myös kuparin puute.

Tulokset osoittavat myös, että suoritettaessa neulasista ravinneanalyysejä on kontrollimateriaalin valinnassa oltava erittäin varovainen, koska kasvuhäiriöitä esiintyy piilevänäkin. Pelkät makroskooppiset oireet eivät myöskään aina anna välttämättä oikeata kuvaa sen hetkisestä puun häiriöasteesta, koska kasvuhäiriö voi joskus parantua itsestään. Tällöin esim. puussa, jossa vuoden 1975 vuosikasvaimissa on makroskooppisia oireita, ei enää vuonna 1976 tarvitse välttämättä olla minkäänlaisia oireita. Kuitenkin tällainen puu katsotaan helposti kasvuhäiriöpuuksi. Varmin tapa häiriön toteamiseksi on näin ollen tutkia esim. neulasten anatomia.

Neulasten hivenainepitoisuudet eivät myöskään yksin aina ilmennä ko. ravinteen puutetta, koska mm. hiven- ja pääravinteiden sekä happamuuden välillä vallitsee monia vuorovaikutuksia. **Schütten** (1964) mukaan kalsiumin määrän lisääntyessä kasvin boorin tarve kasvaa. Samoin runsas typen tai kalin määrä lisää kasvin boorin tarvetta. Samanlainen vaikutus on esim. fosforin ja sinkin, fosforin ja kuparin sekä typen ja kuparin välillä (**Schütte** 1964). Kalsiumin ja boorin sekä fosforin ja sinkin väliset vuorovaikutukset näkyivät myös Alkkian materiaalissa. Niinisalon materiaalissa ilmeni ainoastaan fosforin ja sinkin välinen vuorovaikutus.

5. YHDISTELMÄ

Ojitetuilla soilla ja metsitetyillä suopelloilla on viime vuosina havaittu puiden kasvuhäiriöitä, joiden syitä ei ole tunnettu. Kasvuhäiriölle on ominaista mm. latvakasvainten kuoleminen ja tästä aiheutuva puiden pensasmaisuus. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kuvata männyn (*Pinus silvestris* L.) kasvuhäiriön makro- ja mikroskooppisia oireita. Havaintoja makroskooppisista oireista tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusaseman Alkkian koekentillä, Leivonmäen Kivisuolla ja Kankaanpään Niinisalossa. Materiaali mikroskooppisia tutkimuksia varten kerättiin Alkkiasta ja Niinisalosta. Mikroskooppisten oireiden tutkimusta varten tehtiin pitkittäis- ja poikkileikkauksia latvakasvaimista ja neulasista.

Kasvuhäiriön makroskooppisia oireita olivat vuosikasvainten kärkikasvupisteiden ja/tai kärkisilmujen kuoleminen, vuosikasvainten haarautuminen, erilaiset tupsumuodostumat, jotka syntyvät kääpiöversojen välisten etäisyyksien jäädessä normaalia lyhyemmiksi sekä lukuisien lyhyiden kasvainten muodostamat sykeröt. Kasvuhäiriöpuiden neulaset olivat usein käyristyneitä ja kierteisiä. Neulasissa oli myös kloroosia ja nekroosia (kuvat 1—6).

Huomattavimmat mikroskooppiset oireet olivat vuosikasvainten ydinsolukon ja neulasten transfuusiosolukon hypertrofiset solut ja ontelot. Kasvuhäiriöpuiden transfuusiosolukossa sklerenkyymiä oli vähemmän ja se oli yleensä heikommin puutunutta kuin terveissä neulasissa (kuvat 7—12).

Puut voitiin häiriöasteen perusteella luokitella kolmeen ryhmään: terveet puut, terveennäköiset puut, joissa jo oli kasvuhäiriön mikroskooppisia oireita sekä kasvuhäiriöpuut, joissa mikroskooppisten oireiden lisäksi oli selviä makroskooppisia oireita.

Kasvuhäiriön makroskooppisten oireiden perusteella häiriön syyksi on jo aiemmin epäilty hivenaineiden puutetta. Kasvuhäiriön mikroskooppiset oireet ja anatomisesti tutkituista neulasista suoritetut ravinneanalyysit tukevat tätä käsitystä. Ravinneanalyysit nimittäin osoittivat, että Alkkiassa boori-, sinkki- ja kuparipitoisuudet sekä Niinisalossa sinkkipitoisuus olivat alhaisemmat terveennäköisten puiden ja kasvuhäiriöpuiden neulasissa kuin terveiden puiden neulasissa (taulukot 1—4, kuvat 13—18). On kuitenkin huomattava, että neulasten hivenainepitoisuudet eivät aina yksin ilmennä ko. ravinteen puutetta,

koska mm. hiven- ja pääravinteiden välillä vallitsee monia vuorovaikutuksia. Aineistossamme ilmeni selvimmin kalsiumin ja boorin sekä fosforin ja sinkin väliset vuorovaikutukset.

10 KIRJALLISUUS

ANDERSSEN, F. G. 1932. Chlorosis of deciduous fruit trees due to a copper deficiency. I. Pomol. Hort. Sci. 10: 130—146.

BENZIAN, B. & WARREN, R. G. 1956. Copper deficiency in Sitka spruce seedlings. Nature, Lond. 178 (20): 864—865.

BLASER, W., MARR, C. & TAKAHASHI, D. 1967. Anatomy of boron-deficient *Thuia plicata*. Amer. J. Bot. 54 (9): 1107—1113.

BROWN, L. C. & WILSON, C. C. 1952. Some effects of zinc on several species of *Cossypium* L. Plant Physiol. 27: 812—817.

BUSSLER, W. 1964. Die Bormangelsymptome und ihre Entwicklung. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 105 (2): 113—136.

CAMP, A. F., CHAPMAN, H. D., BAHRT, G. M. & PARKER, E. R. 1941. Symptoms of citrus malnutrition. In »Hunges Sings in Crops» (Hambridge, G., ed.), p. 267—311. American Society of Agronomy and National Fertilizer Society, Washington D.C.

CARLTON, W. M. 1954. Some effects of zinc deficiency on the anatomy of the tomato. Bot. Gaz. 116: 52—64.

CHANDLER, W. H. 1937. Zinz as a nutrient for plants. Bot. Gaz. 98: 625—646.

— » — , HOAGLAND, D. R. & HIBBARD, P. L. 1932. »Little leaf» or rosette of fruit trees. II. The effect of zinc and other treatments. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 29: 255—263.

— » — , HOAGLAND, D. R. & HIBBARD, P. L. 1933. »Little leaf» or rosette of fruit trees. III. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 30: 70—86.

— » — , HOAGLAND, D. R. & HIBBARD, P. L. 1934. »Little leaf» or rosette of fruit trees. IV. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 32: 11—19.

CHAPMAN, H. D., WANSELOW, A. P. & LIEBIG, G. F. Jr. 1937. The production of citrus mottle leaf in controlled nutrient cultures. J. Agr. Research 58: 365—379.

DAVIDSON, O. W. 1941. Nutrient deficiency in decidous fruits. In »Hunger Sings in Crops» (Hambidge, G. ed.), p. 191—239. American Society of Agronomy and National Fertizer Society, Washington D.C.

DUNNE, T. C. 1938. »Withertip» or »Summer dieback», a copper deficiency disease of apple trees. J. Dept. Agr. W. Australia 15: 120—126.

DUTTA, T. R. & McILARTII, W. J. 1964. Effects of boron on growth and lignification in sunflower tissue and organ cultures. Bot. Gaz. 125.2: 89—96.

GOOR, C. P. van. 1965. Reflorestamento com coniferas no Brazil. Ministerio de Agricultura, Servico Florestal, Setor. Inv. FL., Bol. p. 58 (Ref. Stone, E. L. 1968).

— » — 1966. The nutrition of some tropical pines. Secretario de Agricultura da Estado de Sao Paulo, Brazil, Revista Tecineo de Servico Florestal No. 4. (Ref. Stone, E. L. 1968).

— » — & HENKENS, C. H. 1966. Groeimisvormingen bij Douglas en Fijnspar en Sporenelementen. (Netherlands) Bosbouwproefstation Korte Medd. 76. (Ref. Stone, E. L. 1968).

GOSLIN, W. E. 1959. Effects of deficiencies of essential elements on the development and

mineral composition of seedlings of Scots Pine (*Pinus silvestris* L.), Ph. D. thesis. Dept. of Botany. The Ohio State University.

GUENTHER, W. G. 1964. Analysis of variance. 199 p. Englewood Cliffs. N. J.

HACSKAYLO, Jr. 1960. Deficiency symptoms in forest trees. 7th Int. Cong. Soil Sci. 3: 393—405.

HEWITT, E. J. 1963. Micronutrient or trace elements. Plant Physiology Vol III. p. 192—360.

HOAGLAND, D. R., CHANDLER, W. H. & HIBBARD, P. L. 1935. Little leaf or rosette of fruit trees. V. Effects of zinc on the growth plants of various types in controlled soil and water culture experiments. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 33: 131—141.

HUIKARI, O. 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. Metsä ja Puu 11: 24—25.

JAMALAINEN, E. A. 1968. Kasvien puutostaudit. 128 s. Helsinki.

KAUNISTO, S. 1976a. Alkkian kenttäkokeet 1961—1975. Metsäntutkimuslaitos. Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja 4: 1—62.

— » — 1976b. Tutkimussuunnitelma. Metsäntutkimuslaitos. Parkanon tutkimusaseman arkisto.

KESSEL, S. L. & STOATE, T. N. 1936. Plant nutrients and pine growth. Aust. For. 1: 4—13.

LANUZA, J. M. de. 1966. Boron deficiency and toxitity in *Pinus radiata*. Borax consolidated limited, Borax house. Carlisle Place. London SWI.

LUDBROOK, W. V. 1940. Boron deficiency symptoms on pine seedlings in water culture. J. Counc. Sci. Ind. Res. (Australia) 13: 186—196.

MENGEL, K. 1972. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 470 p. Stuttgart. Gustav Fischer Verlag.

MILLIKAN, C. R. 1953. Diseases of flax and linseed. Dept. Agr. Victoria Tech. Bull. 9.

MITSCHERLICH, E. A. 1909. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. Landw. Jb. 38: 537.

OLDENCAMP, L. & SMILDE, K. W. 1966. Copper deficiency in Douglar-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco). Plant & Soil 25: 150—152.

OSERKOWSKY, J. & THOMAS, H. E. 1938. Exanthema in pear and copper deficiency. Plant physiol. 13: 451—467.

PIPER, C. S. 1942. Investigations on copper deficiency in plants. J. Agr. Sci. 32: 143—178.

RAUPACH, M. 1967. Soil and fertilizer requirements for forests of *Pinus radiata*. Adv. Agron 19.

REED, H. S. 1938. Cytology of leaves affected with little leaf. Amer. J. Bot. 25: 174—186.

— » — 1939. The relation of copper and zinc salts to leaf structure. Amer. J. Bot. 26: 29—33.

— » — 1947. A physiological study of boron deficiency in plants. Hilgardia 17 (11): 377—411.

SAVORY, B. M. 1962. Boron deficiency in eucalypts in Nothern Rhodesia. Empire For. Rev. 41: 118—126.

SCHÜTTE, K. H. 1964. The biology of the trace elements. Their role in nutrition. 211 p. Philadelphia. J. B. Lippincott Co.

STILES, W. 1958. Essential micro- (trace) elements. Handbuch der Pflanzenphysiologie. Band IV. p. 558—598.

SMITH, M. E. 1943. Micronutrients essential for growth of *Pinus radiata*. Aust. For. 7 (22). (Ref. de Lanuza, M. J. 1966).

— » — & BAYLISS, N. S. 1942. The necessity of zinc for *Pinus radiata*. Plant physiol. 17: 303—310.

SNOWDON, P. 1971. Observations on boron deficiency in *Pinus radiata*. Aust. For. Tree Nutr. Conf. p. 191—207.

STOATE, T. N. 1950. Nutrition of the pine. For. and Timber Bur. Bull. 30: 1—45.

STONE, E. L. 1968. Microelement nutrition of forest trees. A review. In: Forest fertilization theory and practice. p. 132—175. Published by Tennessee Valley Authority National Fertilizer Development Center, Muscle Schoals, Alabama.

STONE, E. L. & BAIRD, G. 1956. Boron level and boron toxicity in Red and White Pine. J. For. 54 (1): 11—12.

— » — & WILL, G. M. 1965. Boron deficiency in *Pinus radiata* and *P. pinaster*. For. Sci. 11 (4): 425—433.

TAMM, C. O. 1955. Studies on forest nutrition. Seasonal variation in the nutrient content of conifer needles. Medd. Skogsförsökanst. Stockholm 45 (5).

VAIL, J. W., CARLTON, W. E. & STRANG, R. M. 1957. Dieback of wattle — a boron deficiency. East Afr. Agr. J. 23: 100—103.

VAIL, J. W., PARRY, M. S. & CALTON, W. E. 1961. Boron deficiency dieback in Pines. Plant & Soil XIV. 4: 393—398.

VEIJALAINEN, H. 1975. Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsäojitusalueilla. Summary: Dieback and fertilization on drained peatlands. Suo. 26 (5): 87—92.

WADE, G. C. 1944. Production of copper deficiency symptoms in citrus in solution cultures. Aust. J. Agr. Sci. 10: 176—177.

WALLACE, T. 1961. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. 125 p. London. H.M.S.O.

WEHRMANN, J. 1959. Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen in Kieferbeständen. 77 s. Forstwiss. Cbl. Jg. 78.

WILL, G. M., APPLETON, E. I., SLOW, L. I. & STONE, E. L. 1963. Boron deficiency — the cause of dieback in pines in the Nelson district. New Zealand For. Res. Inst. Res. Leaflet 1.

SUMMARY

In the last few years, growth disturbances in forest trees have been observed on peatlands drained for forestry and on old agricultural peat soils. The causes of the disturbances have remained unknown. Characteristic of a disturbed tree is a bushy appearance (»witches broom») caused by leader death in several subsequent years. This investigation aims at describing the macro- and microsymptoms of the growth disturbances observed in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). Observations on the macroscopic symptoms were made in ixperimental areas of the Finnish Forest Research Institute in Alkkia, Kivisuo and Niinisalo, all located in southern Finland. The material for the microscopic part of the study was collected in Alkkia and Niinisalo. Longitudinal sections and transsections were made from top shoots and needles.

The macroscopic symptoms were: death of the growing points and/or terminal buds of the shoots, dicotomical branching of shoots, various tuft formations caused by abnormally shortened long shoot internodes, and compact clusters of abnormally shortened shoots. Frequently, the needles were hooked and twisted (Figures 1—6).

The occurrence of hypertrophic cells and cavities in the pith tissue of the shoots and in the transfusion tissue of the needles was the most prominent microscopic symptoms. In the needles of disturbed trees, less sclerenchyma in the transfusion tissue were detected than in normal needles. Also, the sclerenchyma were poorly lignified in disturbed needles as compared with normal ones (Figures 7—12).

On the basis of the degree of disturbance, the trees were classified in three groups: normal trees, normal-looking trees with microscopic symptoms and disturbed trees with microscopic and clear macroscopic symptoms.

Judging from the macroscopic symptoms, the growth disturbances were suspected to be due to micronutrient deficiency. This apprehension is supported by the microscopic symptoms as well as nutrient analyses from anatomically investigated needles. In the Alkkia material, the content of boron, zinc, and copper in the needles and in the Niinisalo material, the content of zinc, were higher for normal trees than for normal-looking and disturbed trees (Tables 1—4, figures 13—18).

ODC
56-
237.2-
114.444

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 91.2
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 91.2

OJITETTUJEN TURVEMAIDEN HIESKOIVIKOIDEN KEHITYS KAINUUSSA JA POHJANMAALLA

JUSSI SARAMÄKI

Summary

DEVELOPMENT OF WHITE BIRCH *(BETULA PUBESCENS* EHRH.) STANDS ON DRAINED PEATLANDS IN NORTHERN CENTRAL FINLAND

HELSINKI 1977

ODC 56:237.2:114.444
ISBN 951-40-0253-9
ISSN 0026-1610

SARAMÄKI, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch *(Betula pubescens* Ehrh.*)* stands on drained peatlands in northern Central Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 91.(2): 1—5

Tutkimuksessa esitetään kasvu- ja tuotostaulukot Kainuun ja Pohjanmaan ojitettujen turvemaiden vaihtelevin harvennusohjelmin käsitellyille hieskoivikoille. Tältä pohjalta tehdään vertailuja ennen muuta puhtaan hieskoivikon ja männikön kasvatuksen kannattavuudesta kyseisellä maantieteellisellä alueella.

Luontaisesti syntyneen puhtaan hieskoivikon hävittäminen ja männyn viljely on todettu kannattavaksi, jos koivikon valtapituus on pienempi kuin 5 m. Yli 5 m:n valtapituuden omaavan hieskoivikon kasvattaminen on samoilla perusteilla kannattavaa.

Havupuusekoitus (yli 500 kpl/ha) tekee yleensä hieskoivikon hävittämisen perusteettomaksi. Hieskoivikon kasvattamisen kannattavuus paranee, jos merkittävä osa tuotetuista rungoista täyttää kokonsa ja laatunsa puolesta vaneripuulle asetetut vaatimukset.

In this investigation, growth and yield tables have been presented for pure white birch stands of drained peatlands in northern Central Finland.

The replacement of a natural young white birch stand by a pine plantation has been found justified, provided the dominant height of white birch does not exceed 5 m.

Young white birch stands mixed with at least 500 coniferous trees per ha are in general eligible of continued growing. The same is true, if a considerable portion of white birch individuals will reach the minimum requirements of plywood.

Valtion painatuskeskus/Arvi A. Karisto Oy, 1977

ALKUSANAT

Käsillä oleva tutkimus on saanut alkunsa Metsäntutkimuslaitoksen Pyhäkosken tutkimusaseman perustamisen yhteydessä, jolloin aseman kasvu- ja tuotostutkijan ensimmäiseksi tutkimusaiheeksi valittiin Pohjanmaalla ja Kainuussa ongelmaksi nousseen koivukysymyksen selvittely. Allekirjoittanut sai tämän tutkimusaiheen tullessaan Pyhäkosken tutkimusasemalle vuonna 1971.

Tutkimuksen suunnittelussa ja toteutuksessa sekä käsikirjoituksen laadintavaiheessa olen saanut paljon apua ja neuvoja esimieheltäni, professori **Yrjö Vuokila**lta. Tilastomatemaattisissa ja automaattisen tietojenkäsittelyn ongelmissa sain neuvoja fil.kand. **Ahti Niinimaa**lta. Tutkimuksen toteuttamisen teki mahdolliseksi Pohjois- ja Keski-Pohjanmaan sekä Kainuun piirimetsälautakuntien ja metsänhoitoyhdistysten metsäammattimiesten apu heidän etsiessään ja ilmoittaessaan tutkimukseen soveltuvia koivikoita. Koealojen mittauksessa avustivat metsäteknikko **Tuomo Vuolo** sekä silloiset tutkimusapulaiset **Esa Lamberg, Tapio Ristiniemi** ja **Jouko Väyrynen.** Julkaisun piirrokset ovat **Tuula Kukkosen** käsialaa, ja puhtaaksikirjoituksesta on huolehtinut **Leena Välitalo.**

Käsikirjoituksen ovat Metsäntutkimuslaitoksen puolesta tarkastaneet professori **Yrjö Vuokila** ja MMT **Matti Leikola.**

Esitän lämpimät kiitokseni edellä mainituille samoin kuin kaikille Pyhäkosken tutkimusaseman työntekijöille heidän avustaan ja työpanoksestaan tutkimuksen eri vaiheissa.

Muhos joulukuussa 1976

Jussi Saramäki

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 5
2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO 7
   21. Tutkimusmenetelmän perusteet 7
   22. Tutkimusaineiston valinta 7
   23. Tutkimusaineiston sijainti ja määrä 7
   24. Maastomittausmenetelmä 12
3. TUTKIMUSAINEISTON KÄSITTELY 14
   31. Laboratoriotyöt 14
   32. Koealojen puustotietojen ja regressioyhtälöiden laskenta 14
4. HIESKOIVUN PITUUSBONITEETIT 15
   41. Valtapituuden kasvuyhtälö 15
   42. Pituusboniteetit ja niiden käyttökelpoisuus 16
5. PUUKOHTAISET KASVUYHTÄLÖT 20
   51. Muuttujat ja niiden tarkkuus 20
   52. Pituuskasvuyhtälö 21
   53. Pohjapinta-alan kasvuyhtälö 23
   54. Kuutiokasvuyhtälö 23
   55. Puukohtaisten yhtälöiden luotettavuus 24
6. METSIKKÖKOHTAISET KASVUYHTÄLÖT 26
7. KASVATUSVAIHTOEHDOT 30
   71. Lähtöpuusto 30
   72. Harvennusten määrä ja voimakkuus 31
   73. Luonnonpoistuma 32
   74. Kiertoaika 33
8. KASVU- JA TUOTOSTAULUKOT 35
   81. Taulukoiden laadinta 35
   82. Taulukoiden luotettavuus 37
   83. Hieskoivikoiden kehityksen tarkastelu 38
9. HIESKOIVIKON KASVATUKSEN KANNATTAVUUS POHJANMAALLA JA KAINUUSSA 43
   91. Hieskoivikon ja männikön kokonaiskasvujen suhde 43
   92. Hieskoivikon ja männikön tuottovertailu 45
   93. Hieskoivikon kasvatuksen kannattavuuden tarkastelu ja päätelmät 47

KIRJALLISUUS 50
SUMMARY 52
LIITE 1 53
LIITE 2 58

1. JOHDANTO

Koivun, erityisesti hieskoivun kasvatuksesta ei oltu vielä 1950-luvulla kiinnostuneita, koska koivua käytettiin vanerin ohella vain polttopuuna. Koivua pidettiin niin vähäarvoisena, että valtakunnallisten hakkuuohjelmien erääksi päätavoitteeksi asetettiin koivun osuuden merkittävä pienentäminen (**Ilvessalo** 1959). Kun koivun teollisen käytön edellytykset alkoivat parantua seuraavalla vuosikymmenellä, muuttui asennoituminen jälleen koivulle suotuisammaksi.

Esitettyä taustaa vasten on ymmärrettävää, että koivuvaltaisten metsien osuus metsien pinta-alasta on 1950-luvulta laskenut. Samalla on kuitenkin, todennäköisesti lähinnä ojitusten ansioista, hieskoivun osuus koko koivumäärästä noussut. Tosin jo 1950-luvun alussa oli Pohjois-Suomen koivikoiden kuutiomäärästä hieskoivua 80 % (**Ilvessalo** 1956). Koivuvaltaisia metsiä on pohjoisimmissa piirimetsälautakunnissa prosentteina metsämaan pinta-alasta ja hehtaareina seuraavasti (Metsätilastollinen ... 1973):

Keski-Pohjanmaan pml	10,5 %	65 000 ha
Kainuun pml	3,4 »	52 000 »
Pohjois-Pohjanmaan pml	8,2 »	111 000 »
Koillis-Suomen pml	4,3 »	67 000 »
Lapin pml	7,7 »	249 000 »

Koivun kasvupaikat ovat keskimääräistä rehevämpiä. Koivua esiintyy myös huomattavassa määrin sekapuuna havumetsissä. Näistä syistä koivun osuus kokonaiskasvusta on merkittävästi suurempi kuin mitä pinta-alat edellyttävät, kuten seuraava asetelma osoittaa:

Keski-Pohjanmaan pml	27,4 %	vuotuisesta kasvusta
Kainuun pml	15,8 »	»
Pohjois-Pohjanmaan pml	23,8 »	»
Koillis-Suomen pml	14,0 »	»
Lapin pml	24,4 »	»

Luvut osoittavat koivun, nimenomaan hieskoivun, suurta merkitystä Pohjanmaan ja Kainuun metsätaloudelle.

Ensimmäisissä koivua koskevissa tuotostutkimuksissa ei hies- ja rauduskoivua eroteltu toisistaan, vaan niitä käsiteltiin samana puulajina (**Ilvessalo** 1920, 1948, **Lappi-Seppälä** 1930). **Kujalan** (1946) tutkimuksesta löytyy tosin maininta rauduskoivun ja hieskoivun kasvunopeuksien eroista. Kuitenkin vasta **Koiviston** (1957) tutkimus osoitti selvästi koivulajien tuotoserot. **Koiviston** mukaan Etelä- ja Keski-Suomessa hieskoivikon kokonaiskasvu on vain kolme neljäsosaa rauduskoivikon vastaavasta kasvutunnuksesta. Likimain samaan tulokseen on tullut **Raulo** (1977) istutettujen hies- ja rauduskoivujen vertailussa.

Raudus- ja hieskoivu eroavat myös kasvupaikkavaatimuksiltaan toisistaan. Molemmat ovat tosin vaateliaita kasvualustan ravinteisuuden suhteen, mutta hieskoivu sallii huomattavaa maan vesitalouden vaihtelua. Sen on todettu säilyvän elossa vajaahappisessa, jopa hapettomassakin maaperässä (**Huikari** 1954). Hieskoivu viihtyykin, paitsi tuoreilla ja kosteilla kivennäismailla, myös ojitetuilla soilla, kun taas rauduskoivua ei juuri tapaa soilta. Tyypillisenä pioneeripuulajina hieskoivu tunkeutuu kasvupaikoille, joiden metsittäminen on jäänyt syystä tai toisesta luonnon tehtäväksi. Tällaisia kasvualustoja ovat heitteille jätetyt pellot sekä rehevähköt ojitus- ja metsänuudistusalat (vrt. **Kalela** 1961). Erityisesti Pohjanmaan mittavat ojitetut suot ovat saaneet peitokseen hieskoivikoita.

Ojitusalueiden taimistojen käsittelyn myöhästyessä valtaa hieskoivu sellaisiakin kasvupaikkoja, jotka ajallaan hoidettuina muodostuisivat havupuuvaltaisiksi. Ongelma voidaan esittää seuraavasti: kuinka kookasta hieskoivikon on oltava, jotta sitä kannattaa edelleen kasvattaa, ja kuinka vanhaksi sitä on perusteltua kasvattaa? Vastauksen saaminen edellyttää, että tiedetään havupuiden ja hieskoivun kehitys samanlaisilla kasvualustoilla.

Lähtien esitetystä pääongelmasta käsillä olevan tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena on laatia Pohjanmaan ja Kainuun alueen hieskoivikoille kasvu- ja tuotostaulukot. Niiden pohjalta on mahdollista suorittaa laskelmia ja tehdä päätelmiä siitä, kannattaako ylimalkaan hieskoivikon kasvattaminen kyseisellä maantieteellisellä alueella. Päähuomio kiinnitetään ojitettujen turvemaiden koivikoihin, joita pääosa alueen hieskoivikoista on. Vaihtelevin harvennusperustein laaditut kasvu- ja tuotostaulukot antavat mahdollisuuden selvittää myös erilaisten metsänkasvatusohjelmien vaikutusta hieskoivikon kehitykseen ja tuotokseen. Tarkastelussa on tärkeällä sijalla eri puulajien kasvu- ja tuotoskyvyn vertailu samanarvoisilla kasvupaikoilla. Vertailussa ovat toisaalta hieskoivu ja toisaalta rauduskoivu ja mänty. Loppupäätelmät edellyttävät myös rahamääräisiä laskelmia eri kasvatusvaihtoehtojen taloudellisesta mielekkyydestä.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

21. Tutkimusmenetelmän perusteet

Koska tutkimusalueen hieskoivikoista ei ollut saatavissa riittävää perustietoutta, oli välttämätöntä hankkia tarkoitukseen soveltuva maastoaineisto. Koivun kyseessä ollen olisi ollut parempi, jos mitattavat koealat olisivat olleet edes 5-vuotiskauden pysyviä, koska tällöin koivun pituuskasvu olisi voitu mitata tarkasti. Tässä tutkimuksessa päädyttiin kuitenkin kertamittaukseen perustuviin tilapäiskoealoihin, koska työ nopeutui niitä käytettäessä. Pituuskasvun selvittämistä pidettiin kuitenkin niin keskeisenä tehtävänä, että tiedot siitä pyrittiin saamaan kaadetuista koepuista.

Koepuiden määrä oli pakko rajoittaa pienimpään mahdolliseen. Kymmenen runkolukusarjan eri osien pohjapinta-alojen suhteessa valittua runkoanalyysipuuta koealaa kohden katsottiin riittäväksi määräksi (vrt. **Vuokila** 1965). Yksittäisten puiden kasvuedellytysten selvittämiseksi kartoitettiin ja mitattiin jokaisen runkoanalyysipuun lähimmät neljä naapuripuuta, joita käytettiin lisäksi apuna koelan puustoa kuutioitaessa.

22. Tutkimusaineiston valinta

Aineiston valinnan pohjaksi lähetettiin Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Keski-Pohjanmaan piirimetsälautakuntien ja metsänhoitoyhdistysten metsäteknikoille kysely tutkimuskohteiksi sopivista koivikoista, ja ilmoitetut kohteet tarkastettiin maastossa. Tutkimuskohteiksi hyväksyttiin näistä seuraavat ehdot täyttävät turvemaan metsiköt:

1. Metsikkökuvion koko vähintään 0,5 ha.
2. Suotyyppi viljavuudeltaan vähintään suursara- tai mustikkatasoa.
3. Puuston ikä alle 100 vuotta.
4. Ojitus ainakin 30 vuotta sitten.
5. Puusto mahdollisimman tasa-asentoinen.
6. Ei harsintahakkuita.
7. Sekapuulajeja korkeintaan 10 % pohjapinta-alasta.
8. Viimeinen käsittely vähintään viisi vuotta ennen mittausta.

Lisäksi tutkittiin muutamia kivennäismaiden raudus- ja hieskoivikoita, jotta voitaisiin tehdä vertailuja eri kasvupaikkojen ja puulajien kesken.

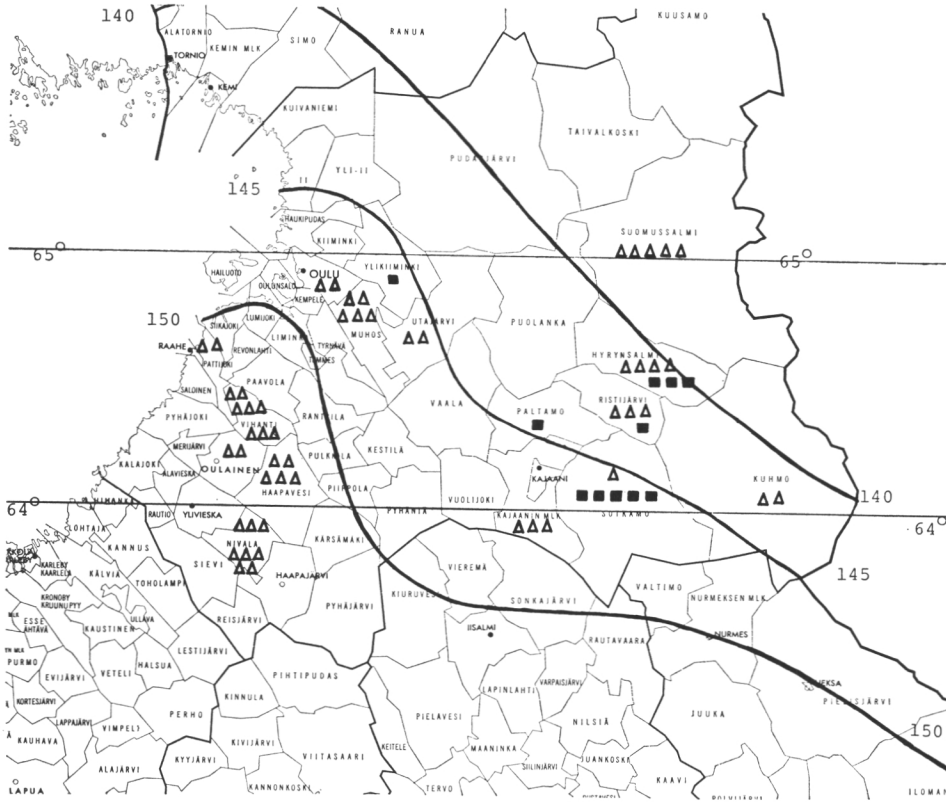
23. Tutkimusaineiston sijainti ja määrä

Tutkimusta varten mitattiin kesinä 1971 ja 1972 kaikkiaan 62 koealaa. Koealat jakautuvat raudus- ja hieskoivikoiden kesken seuraavasti:

Rauduskoivikko kivennäismaalla ..... 11 koealaa
Hieskoivikko » ..... 11 »
» turvemaalla ..... 40 »

Näistä käytettiin hieskoivun puukohtaisten kasvuyhtälöiden laadintaan 29 koealan kasvuanalyysipuita ja puuyhtälöiden tarkistusaineistona lisäksi 15 koealan kasvuanalyysipuita. Puuyhtälöiden laadintaan käytettyjen koepuiden jakaantuminen läpimitta- ja ikäluokkiin on esitetty taulukossa 1.

Koealojen maantieteellinen sijainti käy ilmi kuvasta 1. Vertailuaineistoksi mitatut rauduskoivikot ovat Kainuusta, kun taas hieskoivikot sijaitsevat pääosin Pohjanmaalla. Aineisto ei jakaannu tasaisesti tutkimusalueelle, mutta kattaa kuitenkin tyydyttävästi sen molemmat toisistaan selvästi poikkeavat osat, vaara-alueen ja alavan rannikkokaistan.



Δ = hieskoivikot - white birch stands
■ = rauduskoivikot - common birch stands
—— = termisen kasvukauden (5°...5°) pituus päivinä (1931 - 60)
duration of the growing season in days

Kuva 1. Koealojen maantieteellinen asema.
Fig. 1. Location of sample plots.

TAULUKKO 1. Koepuiden jakaantuminen ikä- ja läpimittaluokkiin.

TABLE 1. Distribution of sample trees into age and diameter classes.

a. Puuyhtälöiden laadinnassa käytetyt koepuut.

a. Sample trees used in the construction of increment functions.

Läpimittaluokka cm *Dbh. class, cm*	Ikäluokka — *Age glass*										Yhteensä *Total*
	5— 14	15— 24	25— 34	35— 44	45— 54	55— 64	65— 74	75— 84	85— 94	95— 104	
0,5—1,9		2									2
2,0—3,9	8	5	1	1	1						16
4,0—5,9	2	17	13	1							33
6,0—7,9		10	19	5	4						38
8,0—9,9		7	34	9	5			1			56
10,0—11,9		7	22	10	3	3			2	1	48
12,0—13,9			15	9	3	2	2	1	4	1	37
14,0—15,9			11	7	3	2	1	1	4		29
16,0—17,9				6	3	1	1	1	2		14
18,0—19,9				3	3	1			3		10
20,0—21,9							1		1		2
22,0—23,9									1		1
24,0—25,9									1		1
Yhteensä *Total*	10	48	115	51	25	9	5	4	18	2	287

b. Tarkistusaineisto

b. Additional check material

Läpimittaluokka cm *Dbh. class, cm*	Ikäluokka — *Age class*								Yhteensä *Total*
	15— 24	25— 34	35— 44	45— 54	55— 64	65— 74	75— 84	85— 94	
2,0—3,9	2								2
4,0—5,9	7	6		2	1				16
6,0—7,9	7	9	1	4	3				24
8,0—9,9	5	12	7	2	5	4			35
10,0—11,9	2	11	2	1	3	2	1	1	23
12,0—13,9		10	4		1	6	3		24
14,0—15,9		7	1	1		3	1	3	16
16,0—17,9		1	2	1		1			5
18,0—19,9		1	1					2	4
20,0—21,9						1			1
Yhteensä *Total*	23	57	18	11	13	17	5	6	150

Koealojen jakaantuminen ikä- ja boniteettiluokkiin (vrt. s. 15) on epätasainen (taulukko 2). Parhaiten on edustettuna boniteettiluokka $H_{50} = 16$.

TAULUKKO 2. Metsikkökoealojen jakaantuminen ikä- ja boniteettiluokkiin mittaushetkellä. RK = rauduskoivu, HK = hieskoivu.

TABLE 2. Distribution of sample stands into age and site classes. RK = common birch, HK = white birch.

Boniteettiluokka *Site class* H_{50}	Ikäluokka — *Age class*										Yht. *Total*
	—20		21—40		41—60		61—80		80+		
	RK	HK	RK	HK	RK	HK	RK	HK	RK	HK	
12						2		8		4	14
14				3	1	3	2	1			10
16		1		12	2	5	4	1		1	26
18			1	10	1						12
Yht.—*Total*		1	1	25	4	10	6	10		5	62

Koealoilla eri mittausjaksoina keskimäärin vallinnutta ilmastoa kuvaa seuraava asetelma.

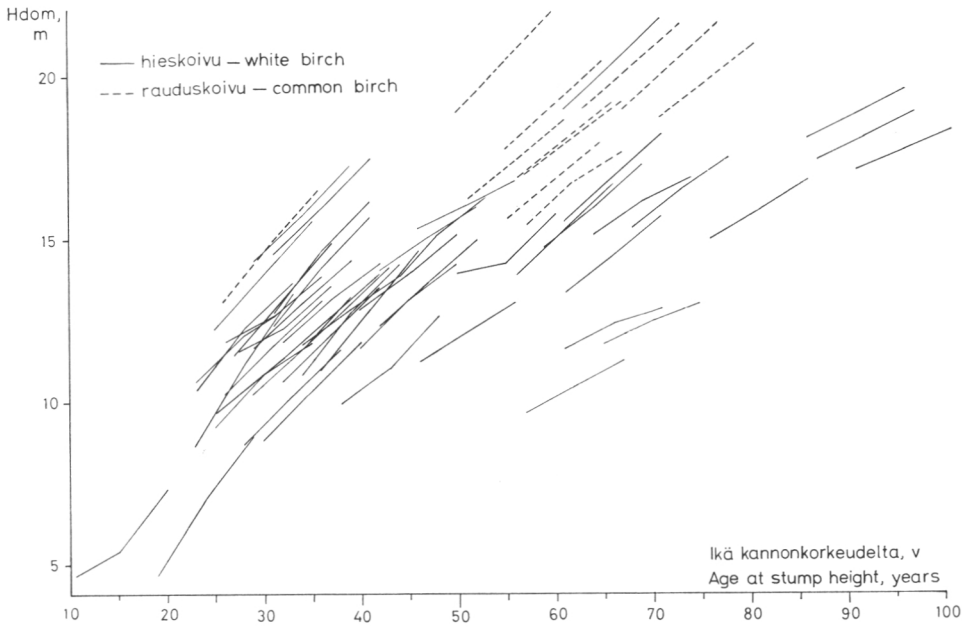
Ilmastotunnus	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Aika mittaushetkestä taaksepäin, v
Lämpösumma, d.d.	903	1093	1002	0—5
» »	932	1038	970	6—10
Terminen kasvukausi, vrk	121	149	134	0—5
» » »	138	164	149	6—10
Sademäärä kesäkuussa, mm			32,8	0—5
» » »			56,9	6—10
» heinäkuussa, mm			46,3	0—5
» » »			56,5	6—10

Edellä olevat luvut ovat kukin viiden vuoden keskiarvoja, joten ne kuvaavat lähinnä koealojen maantieteellisistä sijaintieroista johtuvaa ilmaston erilaisuutta.

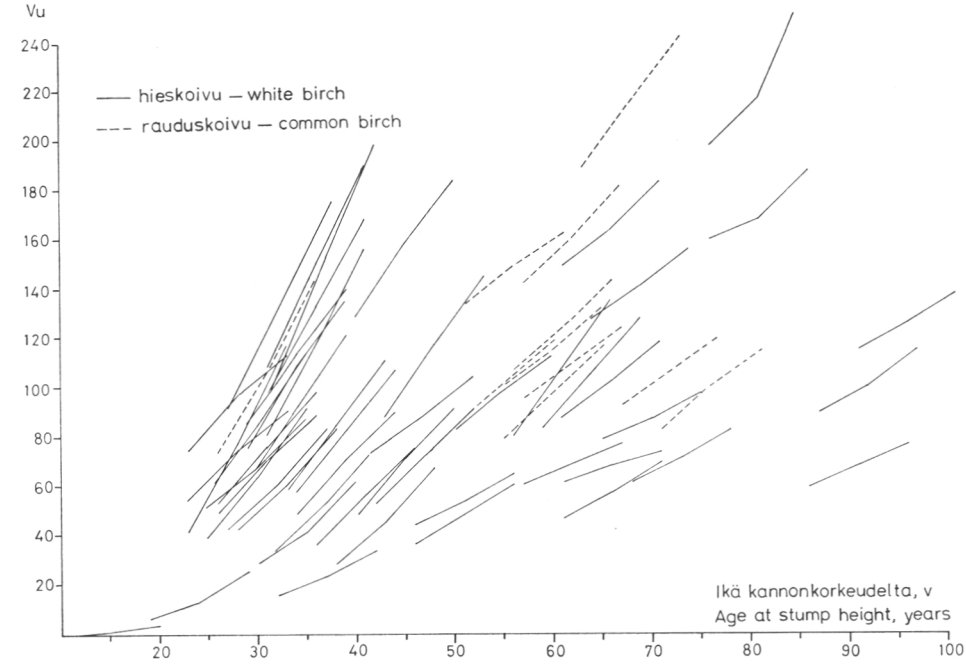
Kuvissa 2 ja 3 esitetään kunkin tutkimuskoivikon valtapituuden ja kuorettoman kuutiomäärän kehitys mittausjakson aikana. Aineisto on alle 20-vuotiaiden koivikoiden osalta puutteellinen (vrt. taulukko 2). Siksi esitettävät tulokset koskevatkin tätä vanhempia metsiköitä. Myös yli 60-vuotiaita hieskoivikoita on niukasti, mutta rauduskoivikoista saadaan tiettyä tukea mainittujen metsiköiden kehityksen selvittämiseksi. Kaiken kaikkiaan koealat kattavat valtapituusalueen 5—22 m. Mittaushetken kuorelliset kuutiomäärät vaihtelevat välillä 5—308 m^3/ha.

Tutkimusmetsiköitä oli käsitelty varhemmin vaihtelevasti, eikä harvennuskertojen lukumääristä ole tarkkoja tietoja. Useimpia metsiköitä oli harvennettu, enintään kaksi kertaa.

Turvemaiden koealojen sarkaleveydet vaihtelevat 7—150 metriin. Kuivausteho on yleensä ollut hyvä, vaikka ojatiheys ei ole kaikilla koealoilla ollut suuri. Kapeissa korpijuoteissa yksikin oja kuivattaa tehokkaasti koko juotin.



Kuva 2. Tutkimusmetsiköiden valtapituuden (H_{dom}) kehitys tutkimusjakson aikana.
Fig. 2. Development of the dominant height (H_{dom}) in different sample stands duringthe period of increment analysis.



Kuva 3. Tutkimusmetsiköiden kuorettoman kuutiomäärän (Vu) kehitys tutkimusjakson aikana.
Fig. 3. Development of the cubic volume (excl. bark) per ha. (Vu) in different sample stands during the period of increment analysis.

24. Maastomittausmenetelmä

Koealan katsottiin yleensä edustavan metsikköä, kun siihen sisältyi vähintään 100 puuta (**Vuokila** 1965). Nuorimmissa ja tiheimmissä metsiköissä koealaan sisällytettiin kuitenkin noin 200 puuta.

Turvemailla koeala sijoitettiin maastoon siten, että sen kaksi sivua oli ojan suuntaisia. Oja pyrittiin saamaan koealan keskelle. Milloin tämä ei ollut mahdollista, asetettiin koealan yksi sivu ojan keskelle. Ojan sijaitessa koealan keskellä teoreettinen sarkaleveys on ojaa vastaan kohtisuoran sivun pituus, ja ojan ollessa koealan rajana kaksi kertaa sitä vastaan kohtisuoran sivun pituus. Muutama koeala jouduttiin sijoittamaan edellä kuvatusta poikkeavasti, koska metsikkökuvion sijainti ei antanut muuta mahdollisuutta.

Koealametsiköiden nykyinen metsätyyppi arvioitiin silmävaraisesti käyttämällä aluskasvillisuuden lisäksi perusteena puuston kasvuisuutta. Koealoilta, joiden turvekerros oli vähintään 20 cm, otettiin tasaisesti eri puolilta koealaa kymmenen 0,2 litran turvenäytettä, jotka sekoitettiin keskenään.

Käytetty mittaustekniikka perustuu pääosin metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosastolla käynnissä olevan viljelymetsikkötutkimuksen mittausmenetelmään (vrt. myös **Vuokila** 1970).

Koealan puut mitattiin rinnankorkeudelta kahdesta toisiaan vastaan kohtisuorasta suunnasta millimetrin tarkkuudella. Rinnankorkeuden mittauksen lähtökohtana oli maanpinnan keskimääräinen taso. Puiden luvun yhteydessä valittiin systemaattisesti noin 30 koepuuehdokasta. Näistä poimittiin kymmenen kasvuanalyysipuuta umpimähkäisesti, mutta kuitenkin siten, että ne jakautuivat likimain pohjapinta-alojen suhteessa runkolukusarjan eri osiin. Yksi puu koealan kolmen paksuimman puun joukosta tuli aina mukaan. Kasvuanalyysipuuksi ei hyväksytty pahoin mutkaisia eikä sairaita puita. Koepuut valittiin siis ositettua systemaattista otantaa mukaillen (esim. **Seppälä** 1970).

Milloin mahdollista, kasvuanalyysipuut kaadettiin. Ne puut, joita ei kaadettu, tutkittiin kiiveten tikkaiden avulla. Puista mitattiin läpimitta 1, 2, 6, 10, 20, 30, 50, 70 ja 85 prosentin suhteellisilta korkeuksilta kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa millimetrin tarkkuudella, kaksinkertainen kuoren paksuus millimetrin tarkkuudella ja kairattiin vähintään kymmenen vuosilustoa sisältävät kairanlastut kahdesta ristikkäisestä suunnasta. Vertailuaineistoksi mitatuissa kivennäismaan raudus- ja hieskoealoissa ei kuitenkaan mitattu 50 %:n suhteellisen korkeuden yläpuolella olevia tunnuksia. Lisäksi em. tiedot otettiin 1,3 ja 6,0 metrin korkeuksilta maanpinnan tasosta lukien. Mittaussuunta vaihteli systemaattisesti puittain pääilmansuuntien mukaan. Kuivien oksien ja elävän latvuksen alkamiskorkeudet maasta lähtien mitattiin desimetrin tarkkuudella, samoin puun pituus. Mikäli puu kaadettiin, mitattiin pituus kokonaan teräsmittanauhalla; pystypuista pituus saatiin kiipeilyn yhteydessä mittaseipään ja teräsnauhan avulla.

Kasvuanalyysipuista mitattiin vielä käyttöosan pituus kuuden senttimetrin kuorettomaan minimiläpimittaan saakka. Neljän alimman elävän oksan paksuus rungon suunnassa mitattiin millimetrin tarkkuudella.

Iän määrittämiseksi tuli ainakin toisen sekä 1 %:n että 1,3 metrin korkeudelta otetuista lastuista sisältää ydin. Pituuskasvun määrittämiseksi kaadettujen koepuiden latvaosa katkottiin 30 cm:n palasiin ja niistä luettiin vuosilustojen määrä, jolloin 5 ja 10 vuoden pituuskasvu voitiin selvittää noin desimetrin tarkkuudella. Kaikista koepuista otettiin ylimmältä mittauskorkeudelta ytimen sisältävä lastu. Muutamista puista jouduttiin 85 %:n suhteellisen korkeuden kaikki tiedot arvioimaan, koska puun latvaosa ei kestänyt kiipeämistä. Arviota varmistettiin tällöin ottamalla 70 %:n suhteelliselta korkeudelta ytimen sisältävä lastu.

Jokaisen koepuun ympäriltä, tasaisesti joka puolelta, tutkittiin neljä lähintä puuta. Naapuripuista selvitettiin seuraavat seikat: suunta kasvuanalyysipuusta käsin pää- ja väli-ilman-

suuntien tarkkuudella, etäisyys samasta puusta desimetrin tarkkuudella, pituus puolen metrin tarkkuudella sekä 1,3 ja 6,0 metrin korkeudelta läpimitat kahden ristikkäisen mittauksen keskiarvoina millimetrin tarkkuudella. Yksityiskohtaiset mittaustulokset on esitetty liitetaulukossa 2 tutkimuksen lopussa.

3. TUTKIMUSAINEISTON KÄSITTELY

31. Laboratoriotyöt

Maastosta kerätyt kairanlastut tutkittiin lustonmittauskojeella. Ennen kesäkuun puoliväliä kerätyistä lastuista mitattiin välittömästi kuoren alta lähtien kahden 5-vuotiskauden kasvut 0,1 millimetrin tarkkuudella. Välillä 15. 6.—31. 7. kerätyistä lastuista jätettiin keskeneräinen viimeinen lusto mittaamatta, mutta elokuun alusta lähtien mittausvuoden lusto katsottiin täysikasvuiseksi (**Ilvessalo** 1932).

Rinnankorkeudelta, yhden prosentin suhteelliselta korkeudelta ja ylimmältä mittauskorkeudelta otetuista lastuista määritettiin vuosilustojen lukumäärä. Mittauksen varmistamiseksi ja helpottamiseksi lastuja liotettiin noin tunnin ajan ennen mittausta spriin ja phloroglusiinin seoksessa; tämän jälkeen ne vielä värjättiin kongonpunaisesta, kaliumhydroksidista, sinkkioksidista ja glyseriinistä valmistetulla tahnalla.

Turvenäytteistä analysoi Viljavuuspalvelu Oy vaihtuvan kaliumin, helppoliukoisen fosforin ja totaalitypen. Sisätöinä määritettiin myös koealan korkeus merenpinnasta ja koealaa lähimmän sääaseman mittausjakson aikaiset lämpösummat, kasvukauden pituudet ja sademäärät sekä keskilämpötilat kesä- ja heinäkuussa.

32. Koealojen puustotietojen ja regressioyhtälöiden laskenta

Koealojen mittaushetken puustotiedot laskettiin **Pekkosen** (1973) kehittämää tietokoneohjelmaa hieman muuntaen. Ohjelma edellyttää syöttötiedoiksi koealan runkolukusarjan sekä koepuutiedot. Mittausajan tietojen laskennassa käytettiin kasvuanalyysipuiden ja niiden naapuripuiden mittaustietoja.

Puustotunnukset viisi ja kymmenen vuotta mittaushetkestä taaksepäin laskettiin pelkästään kymmenen kasvuanalyysipuun avulla. Kuutiomäärät saatiin kasvuanalyysipuiden kuutiomäärillä painotetun kuutiokasvuprosentin avulla, pohjapinta-alat pohjapinta-aloilla painotetun pohjapinta-alan kasvuprosentin avulla, keskiläpimitat pohjapinta-aloilla painotetun läpimitan kasvuprosentin avulla ja valtapituudet kolmen suurimman kasvuanalyysipuun pituuskasvuprosenttien keskiarvon avulla.

Yhtälöiden laadinnassa käytettiin UNIVAC-1108-tietokonetta ja laskenta tapahtui Valtion tietokonekeskuksen askeltavan regressioanalyysin kirjasto-ohjelmalla BMD02R. Muuttujien muunnoksia etsittäessä käytettiin apuna **Jensenin** (1973) esittämää muunnosten hakutekniikkaa.

4. HIESKOIVUN PITUUSBONITEETIT

Kasvu- ja tuotostaulukot esitetään aina kasvupaikkaluokittain. Tässä tutkimuksessa kasvupaikkojen luokittelu perustuu nykypuuston valtapituuden iänmukaiseen kehitykseen. Näin muodostettuja luokkia kutsutaan tavallisesti pituusboniteeteiksi.

41. Valtapituuden kasvuyhtälö

Lähtökohtana hieskoivun pituusboniteettien kehittämiselle oli valtapituuden kasvuyhtälö, joka sai seuraavan muodon:

$$P_H = 3{,}04105 + 0{,}11580 \cdot (100 - T) + 1{,}11130 \cdot [(26 - H_{dom})/10]^5 - 2{,}01025 \cdot [(26 - H_{dom})/10]^3$$

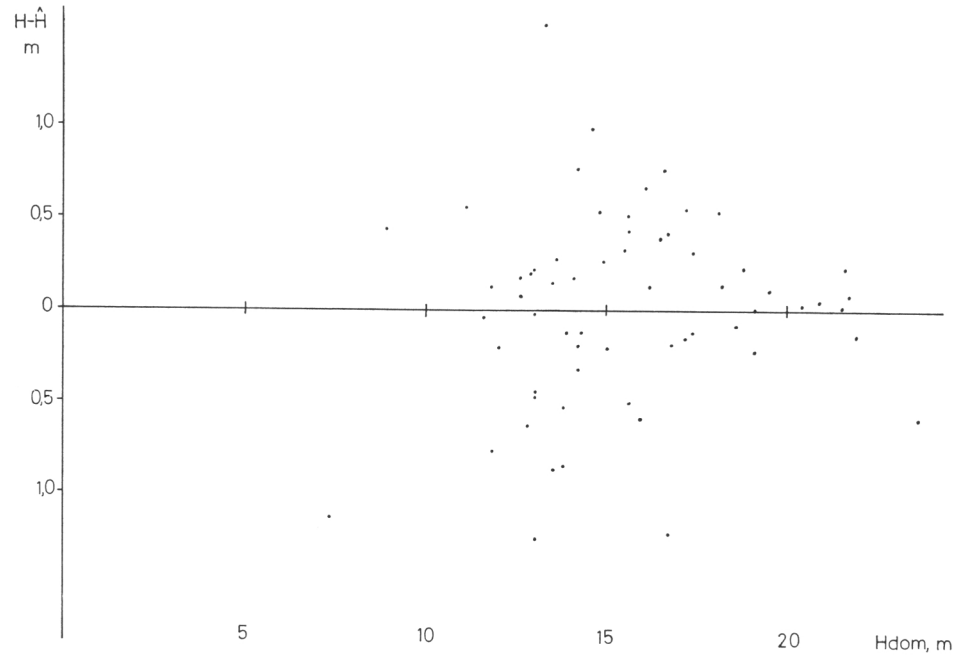
P_H = valtapituuden tulevan 5-vuotiskauden kasvun ennusteprosentti — *dominant height increment per cent of the next 5-year period*

T = metsikön ikä kannonkorkeudelta mitattuna jakson alussa, v — *stand age at stump height at the beginning of the period, years*

H_{dom} = metsikön valtapituus jakson alussa, m — *dominant height at the beginning of the period, m.*

Yhtälön rakenteesta käy ilmi, ettei sitä voida soveltaa yli 100-vuotiaissa, eikä yli 26 metriä pitkissä hieskoivikoissa. Yhtälön luotettavuutta testattiin laskemalla kullekin tutkimusmetsikölle viimeisen kymmenen vuoden kasvuarvio ja vertaamalla näin saatua laskennallista valtapituutta mitattuun arvoon. Vertailun tulokset on esitetty kuvassa 4. Kuvan mukaan poikkeamat ovat tasaisesti plus- ja miinusmerkkisiä, joten yhtälö antaa sovellutusalueellaan keskimäärin luotettavia tuloksia. Yhtälölle suoritettiin myös normaalit jäännöshajontatarkastelut, eivätkä nekään osoittaneet vinoutumia tai muita epäluotettavuuden aiheita. Tutkimusalueella eivät ilmastotekijät olleet merkittäviä pituuskasvun selittäjiä, joten saatua yhtälöä voidaan soveltaa koko alueella sellaisenaan.

Metsikön tiheys saattaa olla pituuskasvuun merkittävästi vaikuttava tekijä, koska suurimmat poikkeamat on havaittu tiheydeltään ääriasennossa olevissa puustoissa. Aineisto on kuitenkin niin suppea, ettei tiheys ole tullut



Kuva 4. Mitattujen (H) ja yhtälöllä ($\hat{H}$) laskettujen valtapituuksien erot 10 vuoden kuluttua lähtötilanteesta.

Fig. 4. Differences between the true dominant heights (H) and those calculated by means of the function ($\hat{H}$) during the 10-year period studied.

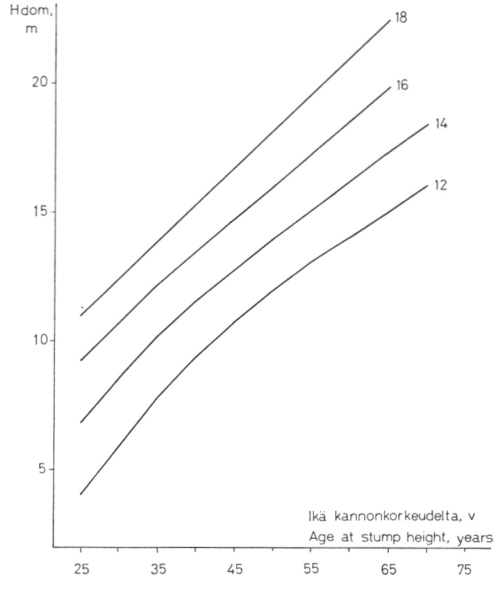
merkitsevänä mukaan yhtälöön. Yhtälö saattaa jossain määrin yliarvioida vanhimpien metsiköiden pituuskasvua, koska pituuskasvun mittauksessa syntyi mittaustekniikasta johtuvaa pientä systemaattista yliarviota kookkaimpien ja vanhimpien metsiköiden osalta.

42. Pituusboniteetit ja niiden käyttökelpoisuus

Turvemaiden puuntuotantokykyä kuvataan Suomessa yleisesti joko suotyyppien (esim. **Heikurainen** 1960) tai ravinteisuusluokkien (**Huikari** 1952) avulla. Puustoa itseään voidaan käyttää kuvaamaan kasvupaikan puuntuotantokykyä, mikäli se on sekä iältään että kooltaan tasaista. Yleisimpiä tältä pohjalta lähteviä järjestelmiä ovat ikään ja pituustunnukseen perustuvat luokittelut (vrt. esim. **Assman** 1970). Niiden katsotaan antavan hyvän kuvan kasvupaikan nykyisestä puuntuotantokyvystä ko. puulajin hallussa. Yleensä on pituustunnuksena valtapituus (esim. **Fries** 1964, **Vuokila** 1971, **Hägglund** 1972, 1973). Valtapituuden yleistyminen pituustunnuksena johtuu siitä, että siihen ei puuston käsittely vaikuta yhtä herkästi kuin

muihin pituustunnuksiin. Toisaalta valtapituutta ei voida käyttää taimistojen luokittelun pohjana, ei myöskään vajaatuottoisten alojen tai sekametsiköiden puuntuotantokyvyn mittana.

Turvemaille syntyvät koivikot ovat tasaikäisiä ja yleensä myös kooltaan tasaisia, joten valtapituuteen ja ikään perustuvalle bonitoinnille ei ole estettä. Tässä työssä ei aineiston pienuuden vuoksi ryhdytty muodostamaan matemaattisesti monimutkaista ja työlästä boniteettimallia, vaan kehitettiin valtapituuden kasvuyhtälö, jonka avulla saadaan muodostetuksi erilaisia valtapituuden kehityskäyriä. Nämä käyrät pakotettiin kulkemaan tiettyjen pisteiden kautta. Näin saatiin pituusboniteettikäyrät, jotka on esitetty kuvassa 5. Käyrien sovellutusalue alkaa 25 vuoden iältä ja jatkuu noin 70 vuoden ikään saakka. On syytä korostaa, että käyrät antavat ehkä hieman liian edullisen kuvan valtapituuden kehityksestä yli 50 vuoden iällä. Bonitointikäyriksi valittiin 50 vuoden iällä parillisten metrilukujen 12, 14, 16 tai 18 kautta kulkevat käyrät. Aineiston pienuus aiheuttaa sen, että boniteetteja H_{50} = 14 ja 16 edustavat käyrät ovat luotettavimpia, ja äärimmäiset käytetyt boniteetit ovat lähinnä suuntaa antavia. Jatkossa käytetään boniteeteista lyhennyksiä H_{50} = 12, 14, 16, 18, jotka tarkoittavat puuston valtapituutta 50 vuoden iällä. Ikä ilmoittaa tällöin vuosilustojen lukumäärän kannon korkeudella. Metsikön biologinen ikä on 1—2 vuotta kannonkorkeusikää suurempi.



Kuva 5. Hieskoivun pituusboniteetit.
Fig. 5. Site index classes for white birch.

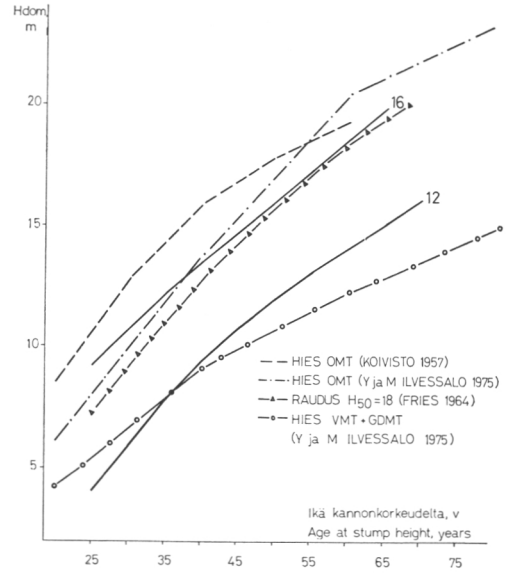
Pituusboniteettikäsite on Suomessa varsin nuori kasvupaikan puuntuotantokyvyn kuvaajana (vrt. **Vuokila** 1971), mutta Keski-Euroopassa kasvupaikkaluokittelu on tapahtunut jo kauan ikään ja pituustunnukseen perustuvin boniteetein. Puuntuotantokyvyn määrittäminen tapahtuu tällöin mittaamalla.

Koska koealametsiköistä oli määritetty myös suotyyppi, oli mahdollista suorittaa kahden sovelletun kasvupaikkaluokituksen vertailu. Tämä tehtiin laskemalla yleisimmille suotyypeille, mustikka- ja ruohoturvekankaille ja näitä vastaaville muuttumille, keskimääräiset pituusboniteetit, jotka olivat seuraavat:

Mustikkaturvekankaat ja vastaavat muuttumat 15,57
Ruohoturvekankaat ja vastaavat muuttumat 15,86

Suoritetun tarkastelun perusteella näyttää silmävaraisesti luokiteltujen turvekangastyyppien sisäinen hajonta niin suurelta, että puuntuotannolliset erot peittyvät suureksi osaksi siihen.

Koska haluttiin selvitystä myös turvemaiden ja kivennäismaiden välisistä suhteista, laskettiin puolukka-mustikkatyypiltä (VMT) kerätystä vertailu-



Kuva 6. Pituusboniteetin $H_{50} = 16$ ja $H_{50} = 12$ mukainen pituuden kehitys verrattuna eräiden tutkijoiden esittämiin koivun pituuskehityksiin.
Fig. 6. Development of the dominant height according to site classes $H_{50} = 16$ and $H_{50} = 12$ compared with the results of certain other investigations.

aineistosta keskimääräinen pituusboniteetti sekä hies- että rauduskoivulle. Näin saatiin myös käsitystä hies- ja rauduskoivun puuntuotannollisesta suhteesta Kainuun kivennäismailla. Hieskoivun keskimääräinen pituusboniteetti VMT:llä oli 13,00 ja rauduskoivun 15,33. Hies- ja rauduskoivun pituuskehityserot käyvät selvästi ilmi edellä olevista luvuista, ja ne vastaavat hyvin **Koivisto**n (1957) esittämiä hies- ja rauduskoivun pituussuhteita Etelä-Suomen käenkaali-mustikkatyypillä (OMT).

Kivennäismaille laskettu hieskoivun keskimääräinen pituusboniteetti on selvästi turvemailta kerätyn aineiston keskimäärää pienempi. Tutkitut turvemaat ovat siten puuntuotantokyvyltään huomattavasti saman alueen tuoreita kankaita parempia. Tätä toteamusta vahvistaa myös kuva 6, johon on piirretty nyt muodostettujen pituusboniteettien lisäksi muutamia kivennäismaiden koivikoiden pituuskehityskäyriä. Kuva osoittaa joitakin eroja eri tutkimustulosten välillä, mutta sen perusteella ei voida todeta esitetyissä boniteettikäyrissä systemaattisia poikkeamia koivikoiden pituuden yleisestä kehityksestä.

Pituusboniteetin määritystä varten on metsiköstä tunnettava keskimääräinen ikä kannonkorkeudella. Koska ikä kairataan usein rinnankorkeudelta, laskettiin boniteeteittain keskimääräiset ajat, jotka puusto tarvitsee kasvaakseen kannonkorkeudelta rinnankorkeudelle. Boniteeteittain ajat ovat seuraavat:

H_{50}, m	Aika, v
12	8,1
14	6,8
16	6,2
18	4,3

Määrittämällä ikä rinnankorkeudella ja lisäämällä siihen 4—8 vuotta saadaan pituusboniteetin määrittämiseen tarvittava kannonkorkeusikä.

5. PUUKOHTAISET KASVUYHTÄLÖT

51. Muuttujat ja niiden tarkkuus

Puuyhtälöissä esiintyvistä muuttujista käytetään seuraavia lyhenteitä:

p_v tulevan 5-vuotiskauden kuorettoman kuutiomäärän kasvuprosentti — *volume (excl. bark) increment per cent of the next 5-year period.*

p_g tulevan 5-vuotiskauden kuorettoman pohjapinta-alan kasvuprosentti — *basal area (excl. bark) increment per cent of the next 5-year period.*

p_h tulevan 5-vuotiskauden pituuskasvuprosentti — *height increment per cent of the next 5-year period.*

$t_{1.3}$ puun ikä rinnankorkeudella ennustejakson alussa, v — *breast height age of the tree at the beginning of the period, years.*

h puun pituus ennustejakson alussa, dm — *height of the tree at the beginning of the period, dm.*

d puun läpimitta ennustejakson alussa kuoretta, mm — *breast height diameter (excl. bark) of the tree at the beginning of the period, mm.*

d_5 puun läpimitta viisi vuotta ennen ennustejakson alkua kuoretta, mm — *breast height diameter (excl. bark) five years before the beginning of the period, mm.*

i_d $d - d_5$, mm.

h_c latvuksen alarajan korkeus maasta ennustejakson lopussa, dm — *height of the lower crown limit at the end of the period, dm.*

c latvuksen pituus ennustejakson lopussa, dm — *length of the green crown at the end of the period, dm.*

$\bar{h}_1$ neljän lähimmän puun keskipituus ennustejakson lopussa, dm — *mean height of four neighbour trees at the end of the period, dm.*

$\bar{e}_1$ neljän lähimmän puun keskimääräinen etäisyys koepuusta, dm — *mean distance from four neighbour trees, dm.*

T metsikön keski-ikä ennustejakson alussa kannonkorkeudella, v — *stand age at stump height at the beginning of the period, years.*

H_{dom} Metsikön valtapituus ennustejakson alussa, m — *dominant height at the beginning of the period, m.*

Kasvuyhtälöiden selitettäviksi muuttujiksi valittiin tulevan 5-vuotisjakson kasvuprosentit. Kyseessä on nimenomaan jakson summaprosentti, eikä jakson keskimääräinen vuotuinen kasvuprosentti. Summaprosentti tarkoittaa 5-vuotisjakson alku- ja loppuarvojen erotuksen suhdetta alkuarvoon kerrottuna sadalla.

Selitettävien muuttujien mitatut arvot ovat varsin tarkkoja. Suurin virhelähde on puiden kuoren mittauksen epätarkkuus, joka riippuu mittauksen suorittajasta ja suoritusajankohdasta. Virhettä pyrittiin eliminoimaan siten, että ryhmän jäsenet mittasivat vuorotellen kuoren paksuutta. Toinen virhelähde on keskeneräisen vuosiluston ja latvakasvaimen jättäminen vaille huomiota. Tämä virhe näkyy vain kuutiokasvuprosentissa, joka antaa keskikesällä mitatuille puille ehkä hieman liian suuria arvoja. Kolmas virhemahdollisuus johtuu pituuskasvun arvioinnista. Sitä suoritettaessa arvioitiin 30 cm pitkin kappalein maastossa vuosilustojen määrä ja se, mihin täyteen desimetriin pituuskasvu pyöristyy. Maasto-olosuhteissa merkittävää virhemahdollisuutta kontrolloitiin ylimmältä mittauskorkeudelta otetun ydinlastun avulla.

Tarkimmin mitattuja ovat puuta itseään kuvaavat selittävät muuttujat. Kilpailutekijää kuvaavat tunnukset ovat myös varsin tarkkoja, mutta niiden heikkoutena on se, että ne on mitattu ainoastaan ennustejakson lopussa. Tästä syystä ne eivät ole laajalti käyttökelpoisia, mutta antavat kuitenkin kuvan puun lähiympäristön merkityksestä kasvua selittävänä muuttujana. Metsikkötunnusten heikkoutena on jakson alkuarvojen määrityksen mahdollinen epätarkkuus, mutta se ei kuitenkaan aiheuttane suurta virhettä ottaen huomioon metsikkötunnusten pienen merkityksen puukohtaisen kasvun selittäjänä.

Kaikkein epätarkimpia ovat ilmastoa ja maaperää kuvaavat muuttujat. Ilmastotiedot saattavat toisella koealalla olla aivan läheltä ja toisella useiden kymmenien kilometrien päästä. Samoin maata kuvaavat tiedot ovat koealan keskimääräisiä, ja kasvupaikan mikrovaihtelun vuoksi ne eivät kuvaa todellista tilannetta puun lähellä. Ilmeisesti näiden edellä mainittujen seikkojen johdosta ilmasto- ja maaperätekijöitä ei tullut merkitsevinä mukaan puukohtaisiin yhtälöihin.

52. Pituuskasvuyhtälö

Pituuskasvuyhtälöä koskevat tiedot käyvät ilmi taulukosta 3. Yhtälön yhteiskorrelaatiokerroin on 0,9656, mikä osoittaa, että noin 93 % aineiston alkuperäisestä vaihtelusta tulee selvitetyksi yhtälön avulla. Variaatiokerroin on 17,28 %. Yhtälön jäännöshajonta on 26,3 % pituuskasvuprosenttien hajonnasta.

Tärkeimmiksi selittäviksi muuttujiksi osoittautuivat puun suhdetta lähipuihin ja latvuksen kokoa kuvaavat muuttujat. Ensiksi mainitut kuvaavat puun asemaa metsikössä. Viimeksi mainitut muuttujat taas ovat seurausta tästä asemasta.

Yhtälön yleistä luotettavuutta ja mahdollisia systemaattisia virheitä tarkasteltiin kahdella tavalla. Ensiksi testattiin yhtälöä sillä aineistolla, josta se oli laskettu. Tällöin verrattiin jäännöshajontaa sekä todellisiin pituuskasvuprosentteihin että kaikkien selittävien muuttujien alkuperäisarvoihin. Yhtälön hajonta on tämän mukaisesti nuorissa puissa absoluuttisina lukuina suurempaa kuin vanhoissa, mutta suhteellisesti hajonta on likimain vakio.

TAULUKKO 3. Puun pituuskasvuyhtälön muuttujat ja niiden kertoimet keskivirheineen ja F-arvoineen.

TABLE 3. Variables, their coefficients, mean errors of the coefficients and F-values of the height increment function for individual trees. Abbreviations see page 20.

Muuttuja *Variable*	Kerroin *Coefficient*	Kertoimen keskivirhe *Mean error of the coefficient*	F-arvo *F-value*
vakio — *constant*	−13,91109	—	—
$1/t_{1.3}$	71,62257	11,34296	39,87
h_c	,83055	,03017	757,83
c	,85081	,02868	880,30
$h/\bar{h}_1$	−105,33211	6,40923	270,09
$(h/\bar{h}_1)^2$	16,64543	2,87117	33,61
$1/\bar{h}_1$	40,85533	1,32513	950,56
$h \cdot \bar{h}_1$	−,00238	,00009	647,77

TAULUKKO 4. Puun pohjapinta-alan kasvuyhtälön muuttujat ja niiden kertoimet keskivirheineen ja F-arvoineen.

TABLE 4. Variables, their coefficients, mean errors of the coefficients and F-values of the basal area increment function for individual trees. Abbreviations see page 20.

Muuttuja *Variable*	Kerroin *Coefficient*	Kertoimen keskivirhe *Mean error of the coefficient*	F-arvo *F-value*
vakio — *constant*	206,47224	—	—
$[(120-t_{1.3})/100]^{24}$	18,30543	1,66275	121,20
$[(120-t_{1.3})/100]^{14}$	−29,76295	5,80887	26,25
$(\bar{e}_1/\bar{h}_1)^5$	4245,13654	187,81412	510,89
$\sqrt{\bar{e}_1/d}$	−39,40741	12,13442	10,55
i_d	−1,32089	,28350	21,71
$(d_5/d)^2$	−192,31856	18,23057	111,29

Pienissä puissa on kasvun prosenttiyksikköinä ilmaistu vaihtelu huomattavasti suurempaa kuin kookkaissa. Kaikkiaan näyttää yhtälö antavan keskimäärin oikeita tuloksia sillä alueella, jonka aineisto kattaa. Kuitenkin nuoria puita koskevat tulokset ovat epävarmimpia.

Yhtälön hyvyyttä testattiin myös erillisen aineiston avulla. Käytettävissä oli 80 puuta. Testiaineiston mitattujen ja laskettujen arvojen erotukset eivät osoittaneet systemaattisia virheitä yhtälössä.

53. Pohjapinta-alan kasvuyhtälö

Pohjapinta-alan kasvuyhtälöä kuvaa taulukko 4. Yhteiskorrelaatiokerroin on 0,9662, ts. vaihtelusta on selvitetty noin 93 %. Variaatiokerroin on 51,22 % ja yhtälön jäännöshajonta 26,1 % pohjapinta-alan kasvuprosenttien hajonnasta.

Parhaiten selittävät pohjapinta-alan kasvua puun kasvuympäristön tiheys, jota kuvaa kaksi muuttujaa. Niiden kanssa samanarvoisia kasvun selittäjiä ovat menneen kauden kasvu ja puun ikä. Ilman menneen kauden kasvuakin päästiin nyt suoritetuissa analyyseissä tosin lähes yhtä hyvään selitysasteeseen, mutta jäännöshajontaan jäi tällöin systemaattinen virhe. Merkittävänä erona pituuskasvuyhtälöön voidaan pitää tiheyden esiintymistä erittäin vahvana muuttujana. Tämä kuvaa näiden kasvun lajien erilaista riippuvuutta kasvutilasta.

Yhtälön luotettavuutta testattiin siten kuin pituuskasvuyhtälön yhteydessä kuvattiin. Lisätestiaineistona oli kuitenkin nyt 150 puuta. Yhtälöä käytettäessä on muistettava, että ikää kuvaavat muuttujat ovat korkeiden potenssiarvojensa takia herkkiä muutoksille, kun on kyse nuorista puista. Potenssimuotoisten muuttujien vaikutus keski-ikäisten ja sitä vanhempien puiden kasvuprosenttien ennusteeseen on kuitenkin hyvin pieni. Esimerkiksi 40 vuoden iällä ikämuuttujien vaikutus viiden vuoden kasvuprosenttiin on vain 1,2 prosenttiyksikköä.

Testin mukaan yhtälö on luotettava myös alkuperäisestä aineistosta riippumattomassa aineistossa. On kuitenkin mahdollista, että yhtälö aiheuttaa lievää systemaattista yliarviointia pienten kasvuprosenttien ollessa kyseessä. Yhtälö antaa keskimäärin oikeita tuloksia kasvuprosenttien vaihdellessa 5—50 %:n välillä.

54. Kuutiokasvuyhtälö

Taulukko 5 esittää kuutiokasvuyhtälön muodon. Yhtälön yhteiskorrelaatiokerroin on 0,9634, joten selitysaste on noin 93 %. Variaatiokerroin on 41,41 % ja yhtälön jäännöshajonta 27,3 % kuutiokasvuprosenttien hajonnasta.

Koska pohjapinta-alan kasvu ja kuutiokasvu ovat kiinteässä riippuvuussuhteessa keskenään, ovat samat muuttujat merkitseviä selittäjiä molemmissa yhtälöissä. Erona on kuitenkin puun iän merkityksen väheneminen ja metsikkökohtaisten tunnusten tuleminen merkitseviksi kuutiokasvuyhtälöissä. Metsikkötunnukset ovat sellaisia, että ne kuvaavat hyvin myös kasvupaikan puuntuotantokykyä eli boniteettia.

Yhtälön luotettavuutta testattiin siten kuin edellisten kasvuyhtälöiden kohdalla on selvitetty. Testiaineistona oli nyt 80 puuta. Yhtälössä ei näytä esiintyvän systemaattista virhettä, joskin hajonta kasvaa kasvuprosentin suurentuessa. Yhtälön muuttujista yksikään ei suoranaisesti kuvaa puun runkomuotoa tai sen muutosta, ja tämä vaikuttaa osaltaan hajonnan suuruuteen. Yhtälöä voidaan soveltaa 5-vuotiskauden kasvuprosenttien ollessa yli 10 %.

TAULUKKO 5. Puun kuutiokasvuyhtälön muuttujat ja niiden kertoimet keskivirheineen ja F-arvoineen.

TABLE 5. Variables, their coefficients, mean errors of the coefficients and F-values of the volume increment function for individual trees. Abbreviations see page 20.

Muuttuja *Variable*	Kerroin *Coefficient*	Kertoimen keskivirhe *Mean error of the coefficient*	F-arvo *F-value*
vakio — *constant*	199,02774	—	—
$[(120-t_{1.3})/100]^{24}$	6,19884	4,21986	2,16
$[(120-t_{1.3})/100]^{14}$	−29,93316	6,62844	20,39
$(\bar{e}/_1\bar{h}_1)^5$	3280,39941	205,69870	254,33
$\sqrt[4]{\bar{e}_1}/\sqrt{d}$	−145,10342	43,17923	11,30
$1/(t_{1.3}^2 \cdot h)$	470374,9	165159,9	8,11
i_d	−,56430	,39299	15,84
$(d_5/d)^2$	−177,81885	24,19085	54,03
$(d/d_5)^4$	−,14784	,03421	18,67
$(26 - H_{dom})/10$	15,04364	5,80543	6,72
$(26-H_{dom})^8 \cdot (100-T)^{10}/10^{28}$	1,36984	,32510	17,75

55. Puukohtaisten yhtälöiden luotettavuus

Yhtälöiden luotettavuutta tutkittiin laskemalla, mitä merkitsevät tuloksiin eri muuttujien mahdolliset mittausvirheet. Pituuskasvuprosenttiin vaikuttavat eniten puun pituuden arviointivirheet; viiden desimetrin poikkeama pituudessa aiheuttaa noin neljän yksikön suuruisen virheen 5-vuotiskauden pituuskasvuprosentissa. Lähipuiden pituuden arvioinnissa syntyvä viiden desimetrin virhe muuttaa prosenttia 0,4 prosenttiyksikön verran. Latvuksen pituuden

ja alarajan arvioiminen puoli metriä virheellisesti aiheuttaa vain 0,1 prosenttiyksikön suuruisen virheen. Myös iän määrityksen virheellisyys vaikuttaa vain vähän pituuskasvuprosenttiin.

Pohjapinta-alan kasvuprosenttiin vaikuttaa nuorilla puilla ylivoimaisesti eniten ikä. Viiden vuoden virhe iässä, kun metsikkö on 20-vuotiasta, aiheuttaa yli kymmenen prosenttiyksikön suuruisen virheen 5-vuotiskauden pohjapinta-alan kasvuprosenttiin, kun taas saman suuruinen arviointivirhe 45-vuotiaaseen puuhun kohdistuvana vaikuttaa vähemmän kuin yhden prosenttiyksikön. Puun läpimitassa oleva viiden millimetrin virhe muuttaa pohjapinta-alan kasvuprosenttia läpimitasta riippuen viidestä prosenttiyksiköstä alaspäin. Puun ja lähipuiden pituuksissa olevat virheet vaikuttavat prosenttiyksikön osia tulokseen.

Kuutiokasvuprosenttiin vaikuttavat eri tekijöissä esiintyvät virheet suurin piirtein samoin kuin pohjapinta-alan kasvuprosenttiin. Ikä on nuorissa puissa tärkein virhetekijä. Viiden vuoden virhe siinä aiheuttaa yli kymmenen prosenttiyksikön virheen kasvuprosenttiin. Läpimitan ja sen kasvun arvioinnin virheet vaikuttavat samoin kuin pohjapinta-alan kasvuprosenttiinkin. Myös puun ja sen lähinaapureiden pituusmittauksen virheen seuraukset ovat samaa suuruusluokkaa kuin pohjapinta-alan kasvuprosentin kyseessä ollen.

6. METSIKKÖKOHTAISET KASVUYHTÄLÖT

Metsikön valtapituuden kasvuyhtälö on esitetty jo aiemmin (s. 15), joten sitä ei käsitellä enää tässä yhteydessä.

Yhtälöissä käytetään seuraavia lyhenteitä.

P_V tulevan 5-vuotiskauden kuorettoman kuutiomäärän kasvuprosentti — *volume (excl. bark) increment per cent of the next 5-year period.*

P_G tulevan 5-vuotiskauden kuorettoman pohjapinta-alan kasvuprosentti — *basal area (excl. bark) increment per cent of the next 5-year period.*

V kuutiomäärä kuoretta, m^3/ha — *cubic volume (excl. bark) cu. m. per ha.*

T ikä kannonkorkeudella, v — *age at stump height, years*

H_{dom} valtapituus, m — *dominant height, m.*

S termisen kasvukauden pituus, vrk — *length of growing season, days.*

Metsikkökohtaisia yhtälöitä laadittaessa olivat tavoitteena mahdollisimman vähäiset ja helposti mitattavat muuttujat. Kasvuyhtälöiden selitettäviksi muuttujiksi valittiin tulevan 5-vuotisjakson kasvuprosentit. Kyseessä on nimenomaan jakson summaprosentti, eikä jakson keskimääräinen vuotuinen kasvuprosentti. Kuutiokasvuyhtälön muoto käy ilmi taulukosta 6 ja pohjapinta-alan kasvuyhtälön taulukosta 7.

TAULUKKO 6. Metsikön kuutiokasvuyhtälön (P_V) muuttujat ja niiden kertoimet keskivirheineen ja F-arvoineen.

TABLE 6. Variables, their coefficients, mean errors of the coefficients and F-values of the volume increment function for white birch stands.

Muuttuja *Variable*	Kerroin *Coefficient*	Kertoimen keskivirhe *Mean error of the ceefficient*	F-arvo *F-value*
1 vakio — *constant*	—33,62424	—	—
2 (215-V) · (100-T)	,00183	,000 36	26,35
3 $(26\text{-}H_{dom})^5$	,83082	,35238	5,56
4 $[(26\text{-}H_{dom})/10]^8 \cdot [(100\text{-}T)/100]^{10}$	3,78463	,17963	443,91
5 S	,31463	,08722	13,01

TAULUKKO 7. Metsikön pohjapinta-alan kasvuyhtälön (P_G) muuttujat ja niiden kertoimet keskivirheineen ja F-arvoineen.

TABLE 7. Variables, their coefficients, mean errors of the coefficients and F-values of the basal area increment function for white birch stands.

Muuttuja *Variable*	Kerroin *Coefficient*	Kertoimen keskivirhe *Mean error of the coefficient*	F-arvo *F-value*
1 vakio — *constant*	—23,93375	—	—
2 (215-V) · (100-T)	,00181	,00017	110,21
3 $[(26\text{-}H_{dom}) /10]^8 \cdot [(100\text{-}T) /100]^{10}$	4,37571	,08112	2909,33
4 S	,20845	,06165	11,43

Yhtälöiden selitysasteet ja variaatiokertoimet ovat seuraavat:

	Selitysaste	Variaatiokerroin
Kuutiokasvuyhtälö	97,8	20,0 %
Pohjapinta-alan kasvuyhtälö	98,8	19,6 %

Yhtälöiden jäännöshajontoja tarkasteltiin normaaliin tapaan (vrt. s. 00), eivätkä ne osoittaneet merkkejä systemaattisista poikkeamista. Mittausjakson alun kuutiomääriä ja pohjapinta-aloja yhtälöiden avulla kasvattamalla saatiin mittausjakson lopulle lasketuksi arvot. Sen jälkeen verrattiin mitattuja ja laskettuja lukuja keskenään. Vertailun perusteella voidaan yhtälöiden antamia tuloksia pitää harhattomina.

Ainoa tutkimusaineiston ulkopuolinen lähde, jonka avulla yhtälöitä voitiin tarkistaa, oli **Koiviston** (1957) keräämä hieskoivuaineisto. Tämän aineiston perusteella voitiin tosin tutkia vain kuutiokasvuyhtälön luotettavuutta. Vertailu suoritettiin niin, että **Koiviston** aineistosta laskettiin ensin kuoreton kuutiomäärä ja sen jälkeen tästä vähennettiin viiden vuoden kasvu, jolloin saatiin jakson alun kuoreton kuutiomäärä. Jakson alun valtapituus otettiin käenkaalimustikkatyypin hieskoivikon valtapituuskäyrältä viisi vuotta aiempaa. Näiden tietojen avulla laskettiin sekä yhtälöllä saatu että **Koiviston** ilmoittama kuutiokasvuprosentti. Koska vm. aineisto oli Etelä-Suomesta, käytettiin kasvukauden pituutena 165 vuorokautta (**Kolkki** 1966). Vertailun perusteella todettiin käsillä olevan tutkimuksen yhtälön antavan yli 30-vuotiaille metsiköille likimain samoja, mutta alle 25-vuotiaille metsiköille pienempiä kasvuprosentteja kuin mitä **Koiviston** tutkimukset edellyttävät.

Yhtälöiden käyttökelpoisuutta tarkasteltiin myös osittaisderivaattojen avulla, jolloin saatiin selville kunkin selittävän muuttujan epätarkkuudesta

aiheutuva absoluuttinen ja suhteellinen virhe. Nämä antavat kuvan siitä, kuinka paljon yhden yksikön virhe tai muutos selittävässä muuttujassa vaikuttaa selitettävän muuttujan arvoon.

Seuraavassa esitetään kuutiokasvuyhtälön suhteellisia virheitä muutamilla selittävien muuttujain arvoilla.

Kuutiomäärä	Suhteellinen virhe muuttujassa 2 (ks. taulukko 6)
50 m³	0,6 %
100 »	0,9 »
150 »	1,5 »
200 »	6,7 »

Ikä	Suhteellinen virhe muuttujassa 2 (ks. taulukko 6)	muuttujassa 4
20 vuotta	1,3 %	12,5 %
40 »	1,7 »	16,7 »
60 »	2,5 »	25,0 »
80 »	5,0 »	50,0 »

Valtapituus	Suhteellinen virhe muuttujassa 3 (ks. taulukko 6)	muuttujassa 4
10 m	31,3 %	50 %
12 »	35,7 »	57 »
14 »	41,7 »	67 »
16 »	50,0 »	80 »

Kuutiomäärässä tapahtuva yhden kuutiometrin virhe ei ole kovin merkittävä. Sen sijaan iässä ja ennen kaikkea valtapituudessa olevat yhden vuoden tai yhden metrin virheet aiheuttavat huomattavaa epätarkkuutta tuloksiin. Jos tarkastellaan suhteellisten virheiden sijasta absoluuttisia virheitä, näyttää virheiden suuruusjärjestys kuitenkin päinvastaiselta. Suurimmat absoluuttiset virheet syntyvät pienillä selittävien muuttujien arvoilla. Noin 10-metrisessä ja 20-vuotiaassa metsikössä on yhden mittayksikön suuruisen virheen aiheuttama kuutiokasvuprosentin muutos noin 13 yksikön luokkaa. Tästä se vähenee jyrkästi ja on metsikön ollessa 60 vuotta puuston koosta riippuen 1,7 prosenttiyksiköstä alaspäin. Kuutiomäärän epätarkkuuden aiheuttama absoluuttinen virhe on suurimmillaan vain puolen prosenttiyksikön luokkaa. Pohjapinta-alan kasvuyhtälön virheet ovat samaa suuruusluokkaa kuutiokasvuyhtälön virheiden kanssa, mikä näkyy siitä, että samojen muuttujien kertoimet ovat lähes yhtä suuria.

Yhtälöissä on selittävänä muuttujana myös termisen kasvukauden pituus (S). Se mahdollistaa kasvuennusteen korjaamisen kesken ennustekautta, mikäli ennustettu ja todellinen sää poikkeavat toisistaan. Termisen kasvukauden pituuden muuttuminen yhdellä vuorokaudella muuttaa kuutiokasvuprosenttia 0,3 yksikköä ja pohjapinta-alan kasvuprosenttia 0,2 yksikköä.

7. KASVATUSVAIHTOEHDOT

Oheen liitetyt (liite 1) kasvu- ja tuotostaulukot perustuvat metsikköyhtälöitä käyttäen suoritettuihin kehitysennusteisiin ja vaihteleviin metsänkasvatusohjelmiin.

71. Lähtöpuusto

Kasvu- ja tuotostaulukoiden lähtöpuuston määrää aineisto, jonka perusteella ne tehdään. Koska tämän tutkimuksen aineistossa taimistot eivät ole edustettuina, lähtöpuuston ikärajaksi on asetettu 25 vuotta. Esitetyt metsikköyhtälöt antaisivat mahdollisuuden lähteä ennustamaan vielä nuorempien puustojen kehitystä, mutta yhtälöiden luotettavuus ei liene tällöin riittävä. Tutkimusaineistosta johtuen lähtöpuuston runkoluvut on jouduttu rajaamaan vain kahteen ryhmään. Toisen muodostavat metsiköt joissa taimiston käsittelyn jälkeinen runkoluku on 2400—2700 kpl/ha mutta ojien välistä laskettuna noin 10 % korkeampi (2700—3000). Toisessa ryhmässä runkoluvut vaihtelevat 1300:n ja 1700:n välillä, ja keskiarvo on noin 1600 kpl/ha. Tiheämpää lähtöpuustoryhmää esiintyi kaikilla boniteeteilla, mutta harvempaa löytyi riittävästi vain boniteetilta $H_{50} = 16$.

Nykyiset taimiston harvennusohjeet edellyttävät jäävän puuston tiheydeksi noin 2000 kpl/ha, mutta käsittelyn tulos on käytännössä kuitenkin tavallisesti mainittua tiheämpi. Rauduskoivikon istutustiheysohjeena on 1600 kpl/ha siinä tapauksessa, että pyritään vanerin kasvatukseen. Näin ollen voidaan katsoa em. suuremman lähtörunkoluvun pyrkivän lähinnä maksimaaliseen käyttöpuun tuotokseen ja alemman taas tavoittelevan tähän verrattuna arvopuuston tuotoksen lisäämistä.

Kun lähtöpuustolle on asetettu ikä ja boniteetti, määräytyy valtapituus näiden tunnusten perusteella. Metsikön kuutiokasvuyhtälöt perustuvat kuorettomiin kuutiomääriin, joten jo valittuja ikä-, valtapituus-, runkoluku- ja boniteettitunnuksia vastaava kuoreton kuutiomäärä etsittiin graafisen tarkastelun avulla viiden kuutiometrin tarkkuudella. Muut lähtöpuuston tunnukset saatiin mainittujen tunnusten avulla käyttämällä regressioanalyysia (vrt. s. 35).

Lähtöpuuston tunnuksia verrattiin **Friesin** (1964) ja **Koiviston** (1957) taulukoiden vastaaviin tietoihin. **Friesin** aineistossa lähtöpuuston runkoluvut ovat olennaisesti tämän tutkimuksen lukuja suuremmat. Ne esittävät sitä paitsi rauduskoivikon kehitystä, joten pohjapinta-ala ja kuutiomäärä ovat suurempia ja keskiläpimitta pienempi kuin tässä tutkimuksessa. **Koiviston** esittämät luvut ovat lähellä boniteetin $H_{50} = 16$ lukuja, kuten seuraava asetelma osoittaa.

	Koivisto Hies, OMT	$H_{50} = 18$	$H_{50} = 16_I$	$H_{50} = 16_{II}$	$H_{50} = 14$
Ikä	25	25	25	25	25
Valtapituus	10,9	11,0	9,2	9,2	6,8
Runkoluku	2515	2350	2680	1570	2730
Keskiläpimitta	8,1	9,2	7,8	8,2	5,8
Pohjapinta-ala	11,0	15,4	12,8	8,3	7,2
Kuutiomäärä	55,0	72,4	49,0	30,5	18,9

Lähtöpuuston on oletettu olevan tasaista. Taimiston käsittely on oletettu tehdyn riittävän ajoissa niin, että merkittävää puuston kasvukyvyn heikkenemistä ei ole ehtinyt tapahtua.

72. Harvennusten määrä ja voimakkuus

Aiemmista tutkimuksista (**Koivisto** 1957) tiedetään, että hieskoivun kyky tuottaa vaneripuuta on heikko jo Etelä-Suomen oloissa. Koska tämän tutkimuksen aineisto on kerätty huomattavasti pohjoisempaa, voidaan vanerin tuotoskyvyn olettaa olevan heikomman kuin Etelä-Suomessa. Siksi katsottiin tarkoituksenmukaiseksi asettaa tavoitteeksi suuri kuitupuun tuotos. Tällöin kasvatustiheys poikkeaa huomattavasti arvopuun kasvatukseen pyrkivien tuotostaulukoiden esittämistä luvuista. Puuston järeyskehitykseen ei tarvitse kiinnittää suurta huomiota, eikä teknillinen laatu ole ratkaiseva tekijä harvennuksia suunniteltaessa. Harvennuksien lukumäärän ja voimakkuuden sanelevat lähinnä puuntuotannolliset ja korjuutekniset näkökohdat. Ajoissa suoritettu taimiston käsittely antaa mahdollisuuden lykätä ensimmäistä harvennusta niin pitkälle, että harvennus on sekä korjuuteknisesti että määrällisesti kannattava.

Harvennusten voimakkuudeksi asetettiin alustavissa laskelmissa 30 % tai 40 % kuorettomasta kuutiomäärästä. Harvennukset aloitettiin siitä iästä alkaen, jolloin mainituilla poistumaprosenteilla saatiin harvennuskertymäksi vähintään 35 m^3/ha runkopuuta. Harvennusten väleinä kokeiltiin 10 ja 15 vuotta. Mainitulla tavalla laadittujen kehityssarjojen käyttöpuumäärät diskontattiin metsikön syntyhetkeen 3 ja 4 %:n korkokantoja käyttäen (vrt.

esim. **Keltikangas** ja **Seppälä** 1973). Näin saatujen käyttöpuun tuotoksen nykyarvojen keskinäisen suuruusjärjestyksen ja käyttöpuun kokonaistuotoksen avulla valittiin lopulliset harvennusohjelmat.

40 %:n harvennuspoistumien todettiin vähentävän kokonaistuotosta niin paljon, että ne eivät tulleet kyseeseen harvennusmalleissa. Kaikissa harvennuksissa on siis poistuma 30 % kuorettomasta kuutiomäärästä. Seuraava asetelma osoittaa harvennuksissa poistettavan puumäärän ja harvennuskertymän osuuden kokonaiskasvusta.

Kasvupaikka-luokka H_{50}	Harvennuskertymä 40 vuoden iässä m^3/ha	50 vuoden iässä m^3/ha	Kaikkiaan m^3/ha	Kaikkiaan % kokonaiskasvusta
18	52,7	58,2	100,9	32,4
16_I	43,4	50,7	94,1	31,0
16_{II}	—	46,8	46,8	16,6
14	—	37,0	37,0	14,0

Boniteetin $H_{50} = 16$ kaksi lukusarjaa tarkoittavat erilaisia lähtöpuuston tasoja niin, että lähtötilanteessa tiheämpää vaihtoehtoa harvennetaan kahdesti ja harvempaa kerran.

Harvennusten myöhäinen alkamisaika johtuu poistuman suuruudelle asetetuista vaatimuksista sekä poistuman hukkapuuosuuden suuruudesta nuorella iällä. Myöhään alkavat harvennukset heikentävät jonkin verran puuston latvustoa, mutta suurehko puupääoma korvaa ainakin osittain latvuston puutteellisuudesta johtuvaa kasvukyvyn heikkenemistä. Mikäli koko runkopuu voitaisiin käyttää hyväksi, voisivat harvennukset alkaa jonkin verran tässä esitettyjä nuoremmissa metsiköissä. Harvennusohjelmat edellyttävät koivikon kasvattamista täystiheänä, eivätkä ota huomioon kiertoajan lopussa mahdollisesti tulevaa puulajin vaihtoa. Kuitenkin viimeisen harvennuksen jälkeen metsikkö on niin harva, että mikäli lähellä on siementävää kuusikkoa, syntyy koivikon alle ennen päätehakkuuta kuusialikasvos. Siemennyksen runsaudesta riippuen tämä alikasvos on joko sellaisenaan tai viljellen täydennettynä riittävä seuraavan puusukupolven muodostaja.

73. Luonnonpoistuma

Vaihtoehtona esitetään myös ohjelma, jossa metsikköä ei käsitellä lainkaan taimistovaiheen jälkeen. Tässä ohjelmassa on otettu huomioon, että metsikkö harvenee luontaisesti. Seuraavan asetelman luvut osoittavat luonnonpoistuman määrää prosentteina kokonaiskasvusta eri boniteeteilla ja lähtöpuuston tasoilla 65—70 vuoden kiertoajan kuluessa.

Boniteetti ja lähtöpuuston runkoluku	Luonnonpoistuma % kokonaiskasvusta
$H_{50} = 18$ 2350 kp/ha	18,01
$H_{50} = 16$ 2680 kpl/ha	10,07
$H_{50} = 16$ 1570 kpl/ha	3,75
$H_{50} = 14$ 2730 kpl/ha	3,82

Mainitut luvut ovat vain suuruusluokkaa osoittavia, koska luonnonpoistuman määrittäminen on vaikeaa. Pelkkä taimiston harvennuskin näyttää kuitenkin vähentävän itseharvenemista verrattuna täysin luonnontilaisiin koivikoihin. Seuraavat **Y. ja M. Ilvessalon** (1975) esittämät kokonaispoistuman prosenttiluvut selventävät asiaa.

Metsätyyppi ja ikä	Hiesvaltaisen luonnonnormaalin koivikon kokonaispoistuma % kokonaiskasvusta
OMT 60 v	33,3
OMT 80 v	35,3
MT 60 v	30,6
MT 80	33,1

Nämä samoin kuin tämän tutkimuksenkin luvut osoittavat, että kasvupaikan parantuessa luonnonpoistuman osuus kokonaiskasvusta suurenee. Mitä parempi kasvupaikka on kyseessä, sitä tärkeämpää osaa harvennukset merkitsevät tuotetun puumäärän hyväksikäytössä. Harvennetuissa vaihtoehdoissa ei luonnonpoistuman osuus ole merkittävä.

74. Kiertoaika

Kiertoajan pituuden valintaan ovat vaikuttaneet mm. puuston keskimääräinen kasvu, terveydentila, kasvatustavoite sekä puustoon sidotun pääoman korkovaatimus. Keskimääräinen kasvu kulminoi nyt tutkituissa koivikoissa

suhteellisesti myöhemmin kuin **Koiviston** (1957) tutkimuksissa. Kasvun kulminaatio on kuitenkin hyvin loiva, joten keskimääräinen kasvu ei ole kiertoaikaa tarkasti määräävä tekijä.

Koivikon terveydentila voi joissakin tapauksissa rajoittaa kiertoajan pituutta, mutta useimmiten taloudelliset seikat määräävät kiertoajan.

Tässä tutkimuksessa kasvatustavoitteena on mahdollisimman suuri kuitupuun tuotos, mistä syystä puuston arvokasvu- ja kuutiokasvuprosentit ovat lähellä kiertoajan loppua likimain samansuuruisia. Kiertoaika voidaan siten määrittää asettamalla tavoitteeksi tietty arvokasvuprosentti, jonka alittuminen merkitsee puuston taloudellisen kiertoajan täyttymistä. Tässä tutkimuksessa vaatimustasona on käytetty kolmea prosenttia. Kiertoajaksi on siis valittu se ikä, jolloin metsikön vuotuinen kuutiokasvuprosentti laskee kolmeen, jolloin myös arvokasvuprosentti laskee samalle tasolle.

Kasvupaikkaluokittain ja eri harvennusohjelmia noudatettaessa kiertoajat ovat:

Kasvupaikkaluokka (H_{50}) ja lähtöpuuston taso	Harvennuksia kpl	Kiertoaika v
18	0	50
18	2	65
16_{I}	0	55
16_{I}	2	65
16_{II}	0	60
16_{II}	1	70
14	0	65
14	1	70

Vaikka harvennuksia tehtäisiin useampiakin, ei kiertoaika mainituilla kriteereillä lisäänny kuin noin viisi vuotta. Jos tavoitteena on vanerin kasvatus, mikä saattaa tulla kyseeseen parhailla kasvupaikoilla, pitenee kiertoaika noin kymmenen vuotta. 70—80 vuoden iässä alkaa hieskoivikkoon tulla niin paljon sairauksia, että puuston arvo ei nouse enää samassa suhteessa järeyden lisääntymisen kanssa. Harvennukset pidentävät kiertoaikaa sitä enemmän, mitä paremmasta kasvupaikasta on kysymys.

8. KASVU- JA TUOTOSTAULUKOT

Kasvu- ja tuotostaulukot voidaan laatia joko puukohtaisia tai metsikkökohtaisia yhtälöitä käyttäen. Tässä tutkimuksessa päädyttiin metsikkökohtaisiin yhtälöihin, koska puukohtaisten yhtälöiden vaatimia naapuripuiden kehitystietoja ei tutkimusaineiston keräyksen yhteydessä voitu saada. Ennen muuta naapuripuiden pituuskehityksen selvittäminen oli mahdotonta ilman puiden kaatamista.

Metsikkökohtaisten kasvuyhtälöiden lisäksi tarvittiin yhtälöitä, joiden avulla voitiin laskea kasvu- ja tuotostaulukoissa esiintyvät muut tunnukset.

81. Taulukoiden laadinta

Lähtöpuustosta oli valinnan jälkeen tiedossa ikä, valtapituus ja kuoreton kuutiomäärä. Valtapituuden kehitys viisivuotiskausittain saatiin bonitointikäyriltä. Kuorettoman kuutiomäärän kehitys laskettiin aiemmin mainitun kuutiokasvuyhtälön avulla käyttämällä termisen kasvukauden pituutena 150 vrk, joka vastaa Pohjois-Pohjanmaan rannikon kasvukauden pituutta (**K o l k k i** 1966). Näiden avulla saatiin kullekin kasvupaikkaluokalle »perustaulukko».

Keskiläpimitta kuoretta pohjapinta-alalla painotettuna laskettiin seuraavan, omasta aineistosta lasketun yhtälön avulla:

$$D_{gu} = -2{,}_{0946} + 0{,}_{0378} \cdot T - 0{,}_{0244} \cdot V_u + 1{,}_{0102} \; H_{dom}.$$

(lyhenteet ks. liite 1)

Yhtälön yhteiskorrelaatiokerroin on 0,942.

Kuorellinen keskiläpimitta, joka esitetään taulukoissa, laskettiin kuorellisen ja kuorettoman keskiläpimitan suhteena seuraavalla yhtälöllä:

$$\frac{D_{gb}}{D_{gu}} = 1{,}_{1020} - 0{,}_{0019} \cdot D_{gu} - 0{,}_{0002} \cdot H_{dom}.$$

Kuorellinen pohjapinta-ala laskettiin seuraavalla yhtälöllä:

$$\ln G = 1{,}_{38769} + 0{,}_{86069} \cdot \ln V_u - 0{,}_{90798} \cdot \ln H_{dom}.$$

Yhteiskorrelaatiokerroin on 0,913.

Kuorellinen kuutiomäärä laskettiin kuoriprosentin avulla. Seuraavalla yhtälöllä saatava kuoriprosentti ilmaisee kuoren osuuden kuorettomasta kuutiomäärästä:

$$\ln B_u = 4{,}3814 - 0{,}8234 \cdot \ln D_{gu} + 0{,}0898 \cdot (\ln D_{gu})^2.$$

Taulukoissa esitettävä kuoriprosentti on saatu kuitenkin muuntamalla em. luku ilmaisemaan kuoren osuutta kuorellisesta kuutiomäärästä.

Käyttöpuun määrä laskettiin kuutiomäärästä hukkapuuprosenttiyhtälöllä, joka on muotoa:

$$\ln W_{\%} = 10{,}78386 - 3{,}39433 \cdot \ln D_{gu}.$$

Yhtälön yhteiskorrelaatiokerroin on 0,953. Yhtälö antaa hukkapuuprosentiksi 100, kun kuoreton keskiläpimitta on hiukan alle 6 cm.

Taulukoissa esitettävät runkoluvut ovat muista tunnuksista graafisen tarkastelun avulla saatuja, ja siksi niitä on suuren hajonnan vuoksi pidettävä vain suuntaa antavina. Kuutiokasvu ja kuutiokasvuprosentti on esitetty kuorellisina. Vuotuinen kuutiokasvu on laskettu jakamalla viisivuotisjaksojen kuorellisten alku- ja loppukuutiomäärien erotus viidellä. Keskimääräinen vuotuinen kuutiokasvuprosentti on laskettu vertaamalla kuutiokasvua jakson keskimääräiseen kuutiomäärään. Taulukoissa on esitetty myös poistuman sekä kiertoajan loppupuuston keskimääräinen aritmeettinen yksikkökuutio.

Taulukoissa on esitetty vain yksi pituustunnus, valtapituus, mutta pohjapinta-alalla painotettu keskipituus voidaan laskea seuraavan yhtälön avulla:

$$\ln H_g = 0{,}7845 + 1{,}0356 \cdot \ln H_{dom}.$$

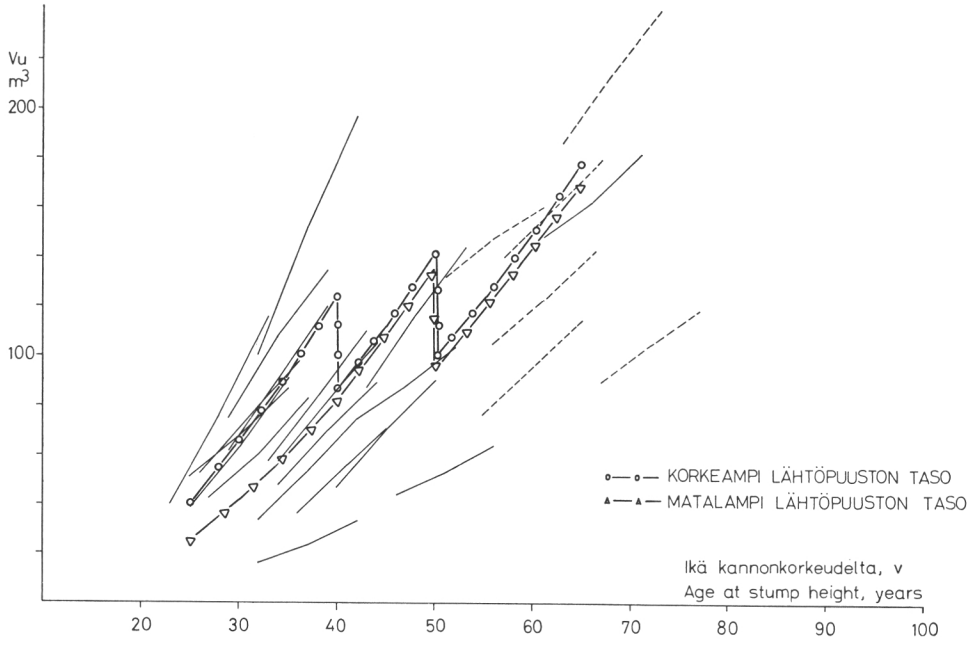
Yhtälön yhteiskorrelaatiokerroin on 0,940. Mikäli metsikkö on tasainen, kuten taulukot edellyttävät, saadaan keskipituus tarkasti em. yhtälöllä. Keskipituutta ei voida kuitenkaan laskea tarkasti välittömästi harvennuksen jälkeen, koska aineisto ei antanut mahdollisuutta selvittää harvennuksessa tapahtuvaa keskipituuden muutosta.

Kasvu- ja tuotostaulukot, jotka on esitetty liitteessä 1, on laadittu kullekin kasvupaikkaluokalle ja käsittelyohjelmalle erikseen. Ne kuvaavat pystypuuston kuorellisten tunnusten kehitystä sekä erikseen harvennuspoistumaa ja sen rakennetta. Ilmastoa kuvaava termisen kasvukauden pituus on vakioitu 150 vuorokaudeksi, jonka voidaan katsoa vastaavan Pohjanmaan keskimääräistä termisen kasvukauden pituutta.

82. Taulukoiden luotettavuus

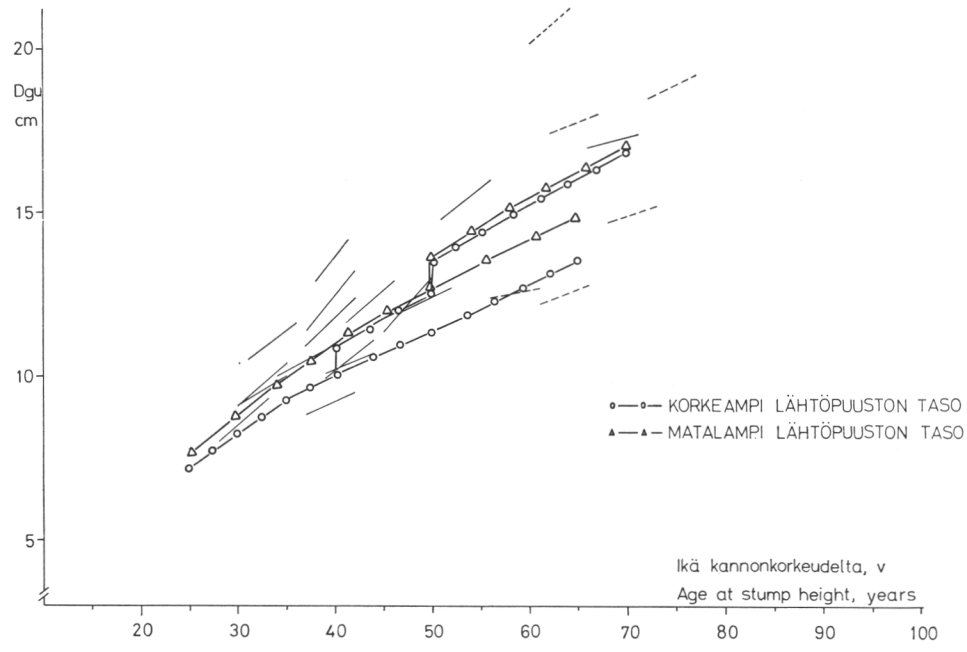
Taulukoiden pohjana olevien kasvuyhtälöiden luotettavuutta on jo käsitelty aiemmin ja esitetty niissä mahdollisesti esiintyvät systemaattiset virheet, joten niihin ei tässä yhteydessä enää puututa. Sen sijaan jatkossa tärkeää osaa esittävää kuorettoman keskiläpimitan yhtälöä testattiin tutkimalla yhtälön jäännöspoikkeamia sekä selittävien että selitettävän muuttujan suhteen. Tarkastelu osoitti yhtälön kuvaavan luotettavasti kuoretonta keskiläpimittaa. Vastaava tarkastelu tehtiin kuorellisen pohjapinta-alan yhtälölle, eikä senkään havaittu aiheuttavan systemaattisia virheitä. Myös hukkapuuprosenttiyhtälö tasoittaa esiintyvän vaihtelun ilman systemaattisia virheitä. Kuoren määrää ilmaisevien yhtälöiden selitysaste jäi heikoksi kuoren osuuden suuren, säännöttömän vaihtelun vuoksi. Samaan toteamukseen on aiemmin päätynyt **Koivisto** (1957). Suoritetussa jäännöspoikkeamien tarkastelussa ei kuitenkaan havaittu systemaattisia poikkeamia yhtälöiden antamista luvuista, joten taulukoissa esiintyviä kuoren osuuksia on pidettävä keskimäärin oikeina.

Taulukoiden luotettavuutta tarkasteltiin vertaamalla eri tunnusten taulukkojen mukaista kehitystä vastaavien mitattujen tunnusten kehitykseen. Vertailussa käytettiin kuoretonta kuutiomäärää ja kuoretonta keskiläpimittaa



Kuva 7. Kuorettoman kuutiomäärän (Vu) kehitys boniteetilla $H_{50} = 16$ kasvu- ja tuotostaulukkojen mukaan verrattuna aineiston koealojen 10-vuotiskauden kehitykseen.

Fig. 7. Development of the cubic volume excl. bark per ha. (Vu) as indicated by the growth and yield tables compared with that of the individual sample plots. Site class $H_{50} = 16$.



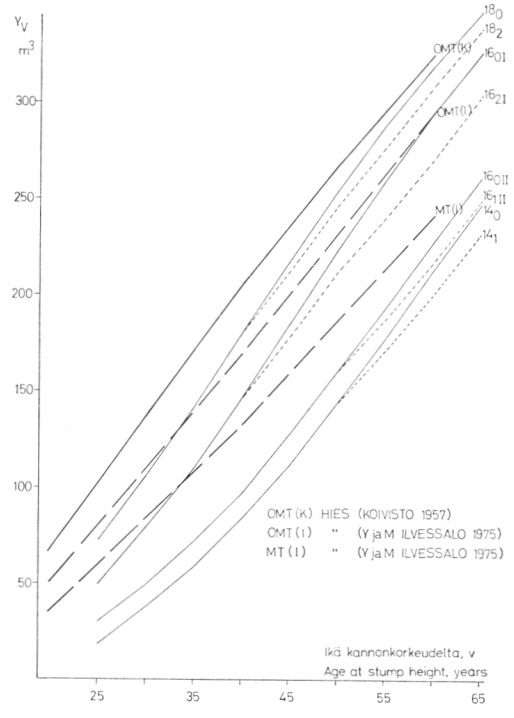
Kuva 8. Kuorettoman keskiläpimitan (D_{gu}) kehitys boniteetilla H_{50} = 16 kasvu- ja tuototaulukkojen mukaan verrattuna mitattujen koealojen 5-vuotiskauden kehitykseen.
Fig. 8. Development of the mean diameter excl. bark (Dgu) as indicated by the growth and yield tables compared with that of the individual sample plots. Site class H_{50} = 16.

ja boniteettia H_{50} = 16. Kuvan 7 mukaan vastaa taulukon kuutiomäärien kehitys hyvin aineiston mukaista kehitystä. Taulukko saattaa antaa hieman liian edullisen kuvan yli 55-vuotiaiden koivikoiden kehityksestä, mutta toisaalta aineiston määrä mainitun iän jälkeen on vähäinen. Kuvassa 8 on vastaava vertailu keskiläpimittojen osalta. Myöskään siitä ei voida havaita systemaattisia poikkeamia mitattujen ja taulukkolukujen välillä.

83. Hieskoivikoiden kehityksen tarkastelu

Kasvu- ja tuotostaulukoita tarkastellaan seuraavassa vertaamalla eri tunnusten kehitystä **Koiviston** (1957) esittämiin Etelä-Suomen käenkaalimustikkatyypin hoidettujen hieskoivikoiden tunnuksiin sekä **Y. ja M. Ilvessalon** (1975) luonnonnormaalien hiesvoittoisten koivikoiden tunnuksiin. Eräitä vertailuja tehdään myös Pohjanmaan ja Kainuun männiköiden kehitykseen (**Koivisto** 1972).

Kokonaiskuutiokasvun kehitystä eri boniteeteilla valaisee kuva 9. Sen mukaan kasvupaikkaluokkien H_{50} = 18 ja H_{50} = 16 puustojen kehitysnopeu-



Kuva 9. Kuorellinen kokonaiskasvu (Y_V) eri tutkimusten mukaan.

Fig. 9. Yield of stem wood incl. bark (Y_V) according to different investigations.

dessa ei ole suuria eroja, kun lähtötaso on sama. Sen sijaan boniteetti H_{50} = 14 edellyttää selvästi edellä mainittuja hitaampaa puuston kehitystä. Myös boniteetin H_{50} = 16 eri puustotasojen kasvujen ero on suuri. Eri puustotasojen kokonaiskasvujen eroon saattaa vaikuttaa käytetty taulukoiden laadintamenetelmä, joka ehkä aliarvioi voimakkaiden käsittelyjen jälkeisten puustojen elpymiskykyä. Harvennushakkuut heikentävät kokonaiskasvua sitä enemmän mitä voimakkaammista käsittelyistä on kysymys. Tutkittujen metsiköiden hidas alkukehitys verrattuna luonnontilaisiin ja käsiteltyihin Etelä-Suomen hieskoivikoihin johtuu taimiston käsittelyn voimakkuudesta ja varhaisuudesta. Se, että tutkitut koivikot myöhemmin tavoittavat kokonaiskasvussa Etelä-Suomen käsiteltyjä koivikoita, aiheutuu kasvatustavoitteiden erilaisuudesta. **Koiviston** (1957) sarjoissa on tavoitteena vanerin kasvatus, joka tapahtuu osittain kokonaiskasvun kustannuksella, kun taas tässä työssä on tavoitteena mahdollisimman suuri massapuun tuotos, joka saavutetaan pitämällä kasvatettavan pystypuuston määrä suurena.

TAULUKKO 8. Kasvupaikkaluokkien keskimääräiset vuotuiset kuorelliset kuutiokasvut.

TABLE 8. Mean annual volume increments in different site classes.

Kasvupaikkaluokka *Site glass* H_{50}	Ikä, v — *Age, years*				
	40	50	60	65	70
18_0	4,49	5,09	5,32	5,35	
18_2	4,49	4,94	5,15	5,26	
16_{0I}	3,70	4,47	4,91	5,02	
16_{2I}	3,70	4,24	4,53	4,67	
16_{0II}	2,43	3,20	3,80	4,02	
16_{1II}	2,43	3,20	3,63	3,84	4,02
14_0	2,08	2,88	3,55	3,82	4,04
14_1	2,08	2,88	3,34	3,57	3,78
OMT, hies — *Oxalis — myrtillus type, white birch* **Koivisto** (1957)	5,13	5,33	5,40		
OMT, hies — *Oxalis — myrtillus type, white birch* **Y. ja M. Ilvessalo** (1975)	3,6		4,3		
VMT, mänty — *Vaccinium — myrtillus type, Scots pine* **Koivisto** (1972)	3,3	4,1	4,5		4,8

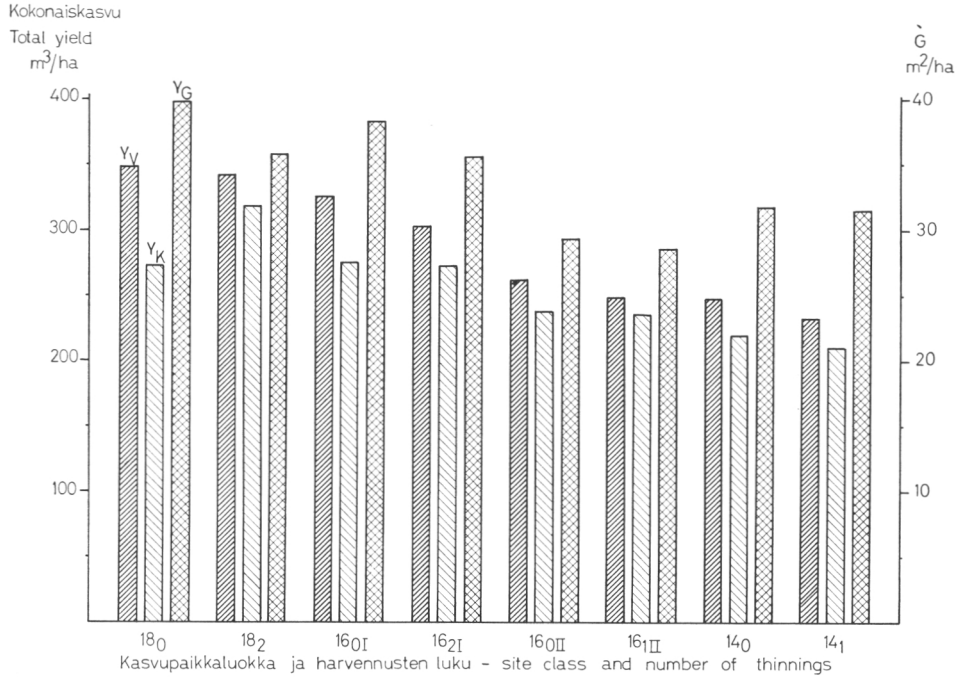
Havupuilla on todettu voimakkaiden usein toistuvien harvennusten vähentävän kiertoajan kokonaiskasvua (**Vuokila** 1967). Saman toteamuksen havaittiin pätevän myös hieskoivikoihin ja vieläpä niin, että varhain suoritettu voimakas taimiston harvennus pudottaa kokonaiskasvua 20 % ja käyttöpuun kokonaistuotosta noin 18 %, kun on kyse harventamattomista kasvupaikkaluokan $H_{50} = 16$ metsiköistä. Harvennetuissa metsiköissä vastaavat luvut ovat 17,9 % ja 14,3 %. Männiköissä on kuutiokasvutappio voimakkaassa käsittelyssä vastaavassa kasvupaikkaluokassa 19 % (**Vuokila** 1967).

Keskimääräinen vuotuinen kuutiokasvu (taulukko 8) nousee jyrkästi parhaalla boniteetilla noin 55 vuoden ikään ja heikoimmilla 60—65 vuoteen saakka. Tämän jälkeen nousu hiljenee, ja keskimääräisen kuutiokasvun maksimi saavutetaan boniteetilla $H_{50} = 18$ 65—70 vuoden iässä, boniteetilla $H_{50} = 16$ 70—75 vuodessa ja boniteetilla $H_{50} = 14$ yli 80 vuoden iässä. Seuraava asetelma esittää eri kasvupaikkaluokkien keskimääräisen vuotuisen kasvun suhteelliset suuruudet 65 vuoden iässä, kun boniteetin $H_{50} = 18$ harventamatonta vaihtoehtoa on merkitty luvulla 100.

Kasvupaikkaluokka	18_0	18_2	16_{0I}	16_{2I}	16_{0II}	16_{1II}	14_0	14_1
Kuutiokasvuindeksi	100	98	94	87	75	72	71	67

Boniteettien alaindeksien arabialaiset numerot tarkoittavat harvennuskertojen lukumäärää ja roomalaiset lähtöpuuston tasoa. Verrattaessa kuutiokasvuindeksien eroja **Vuokilan** (1967) männiköiden eri kasvupaikkaluokille esittämiin voidaan tutkittujen kasvupaikkaluokkien tuotoserojen todeta olevan suhteellisesti hyvin samansuuruisia männiköissä ja koivikoissa. Etelä-Suomen hieskoivikon keskikasvua (**Koivisto** 1957) verrattuna boniteetin H_{50} = 18 harventamattomaan vaihtoehtoon voidaan kuvata luvulla 102. Pohjanmaan ja Kainuun kivennäismaan männiköiden keskikasvu (**Koivisto** 1972) jää boniteetin H_{50} = 16 kasvulukujen alapuolelle, mutta on selvästi suurempi kuin vastaavilla kivennäismailla kasvavien hieskoivikoiden keskikasvu.

Kasvupaikkaluokkien pohjapinta-alan ja kuutiomäärän kokonaiskasvut sekä käyttöpunn kokonaistuotokset käyvät ilmi kuvasta 10. Kuvasta voidaan todeta harvennusten kokonaiskasvua pienentävä vaikutus, joka näyt-



Kuva 10. Pohjapinta-alan (Y_G) ja kuutiomäärän (Y_V) kokonaiskasvu sekä käyttöpuun kokonaistuotos (Y_K) eri kasvupaikkaluokissa 65 vuoden kiertoaikaa sovellettaessa.

Fig. 10. Yield of basal area (Y_G), stem wood (Y_V) and usable wood (Y_K) in different site classes during a rotation of 65 years.

tää vähentävän myös käyttöpuun kokonaistuotosta lukuun ottamatta parasta boniteettia. Vm. boniteetilla on luontainen poistuma metsikön nopean kehityksen vuoksi niin suurta, että harvennushakkuiden kokonaiskasvua pienentävästä vaikutuksesta huolimatta käyttöpuun kokonaistuotos kasvaa suhteessa käsittelemättömään vaihtoehtoon. Huonoilla boniteeteillakin pystytään käyttöpuuta korjaamaan suhteessa kokonaiskasvuun enemmän harvennetuista kuin harventamattomista metsiköistä. Jos kasvupaikkaluokan $H_{50} = 18$ harvennetun vaihtoehdon käyttöpuun kokonaistuotosta merkitään 100:lla, ovat muiden boniteettien luvut:

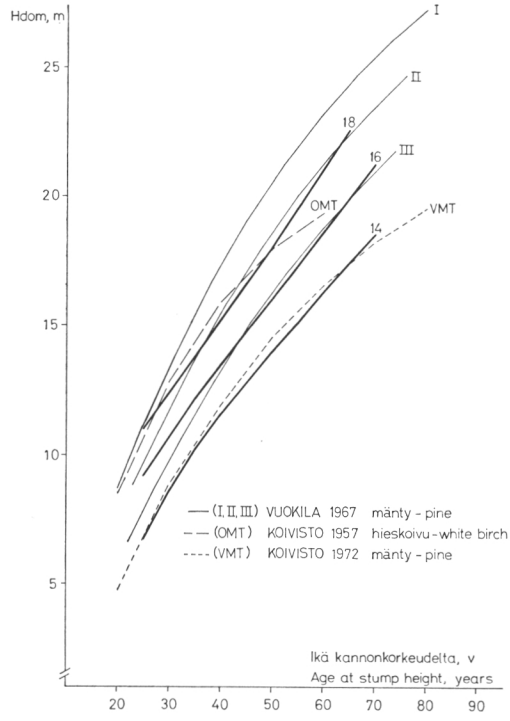
$H_{50} = 16_{I}$ 86
$H_{50} = 16_{II}$ 74
$H_{50} = 14$ 66

Luvut ovat jokseenkin samoja kuin kuutiokasvuindeksit.

9. HIESKOIVIKON KASVATUKSEN KANNATTAVUUS POHJANMAALLA JA KAINUUSSA

91. Hieskoivikon ja männikön kokonaiskasvujen suhde

Kansantalouden kannalta tarkastellen jokainen lisäkuutiometri samalta pinta-alalta on edullista, koska se merkitsee lisääntyvää puuntuotosta. Vertailemalla saman kasvupaikan kokonaiskasvua eri puulajeja kasvatettaessa saadaan karkea käsitys eri puulajien kansantaloudellisesta kannattavuudesta.



Kuva 11. Hieskoivikon ja männikön valtapituuksien kehitys.

Fig. 11. Development of the dominant height in white birch and pine stands.

Verrattaessa eri puulajien kasvuja ja tuotoksia keskenään täytyy tietää näiden puuntuotantokyky samalla kasvupaikalla. Tässä tutkimuksessa on selvitetty hieskoivikon kasvukykyä, mutta turvemaiden männiköiden kasvusta ei ole tietoa. Vertailuaineisto on siis hankittava kivennäismaiden kasvu- ja tuotostutkimuksista. Sitä etsittäessä käytettiin apuna **Koiviston** (1957) tutkimuksen käenkaali-mustikkatyypin (OMT) hieskoivikoiden kehityssarjoja, koska tämän tutkimuksen hieskoivikon kehitys oli hyvin samankaltaista mainittujen kivennäismaan hieskoivikoiden kanssa (vrt. kuva 11). **Vuokilan** (1967) tutkimuksesta löytyvät eri kasvupaikkaluokkia kuvaavat männiköiden kehityssarjat. Männiköiden kasvupaikkaluokka I vastaa **Vuokilan** tutkimuksessa käenkaali-mustikkatyyppiä (OMT), kasvupaikkaluokka II mustikkatyyppiä (MT) ja kasvupaikkaluokka III puolukkatyyppiä (VT). Vertaamalla hieskoivikon ja männikön valtapituuden kehitystä käenkaali-mustikkatyypillä ja rinnastamalla tämän tutkimuksen kasvupaikkaluokka $H_{50} = 18$ Etelä-Suomen käenkaali-mustikkatyyppiin (vrt. kuva 11) saatiin hieskoivikoille vertailuaineisto. Kuvassa 11 mukana oleva **Koiviston** (1972) tutkimuksen mukainen Pohjanmaan puolukkamustikkatyypin (1972) tutkimuksen mukainen Pohjanmaan puolukka-mustikkatyypin (VMT) männikön valtapituuden kehityskäyrä tukee tehtyä rinnastusta, sillä käsillä olevassa tutkimuksessa saatiin puolukka-mustikkatyypin hieskoivikon pituusboniteetiksi $H_{50} = 13$. Vertailun perusteella männiköiden ja koivikoiden kasvupaikkaluokat vastaavat toisiaan likimain seuraavasti:

Metsätyyppi	Männikkö	Hieskoivikko
	Vuokila (1967)	
OMT	kasvupaikkaluokka I	$H_{50} = 18$
MT	» II	$H_{50} = 16$
VT	» III	$H_{50} = 14$

Edellä olevan rinnastuksen avulla voidaan männiköiden ja hieskoivikoiden kuutiokasvujen suhde selvittää. Seuraavassa esitetään kasvupaikkaluokittain harvennetun turvemaan hieskoivikon suhteelliset kokonaiskuutiokasvut 65 vuoden kiertoajalla, kun männikön kokonaiskuutiokasvua vastaavalla kasvupaikalla merkitään luvulla 100.

Kasvupaikkaluokka H_{50}	18	16	14
Hieskoivikko	63	62	55
Männikkö (**Vuokila** 1967)	100	100	100

Koiviston (1957) tutkimuksessa esitettyjen lukujen mukaan on kivennäismaan hieskoivikon ja männikön kokonaiskuutiokasvujen suhde 60 vuoden kiertoajalla käenkaali-mustikkatyypillä 65 : 100. Hieskoivu tuottaa siis yhdeltä pinta-alayksiköltä vain 2/3 puuta mäntyyn verrattuna.

92. Hieskoivikon ja männikön tuottovertailu

Metsänkasvatuksen liiketaloudellista kannattavuutta voidaan tarkastella esim. laskemalla kaikkien tuottojen ja kustannusten nykyarvot eri korkoprosentteja käyttäen. Kun tuottojen ja kustannusten erotus on nolla, ilmaisee laskentakorkoprosentti metsikön sisäisen korkokannan. Vertaamalla saman metsikön sisäistä korkoa eri puulajeja kasvatettaessa saadaan näiden keskinäinen kannattavuusjärjestys selville. Yksinkertaisemmin voidaan koivikon tuottoja verrata muiden puulajien tuottoihin siten, että puulajista riippumattomat kustannukset jätetään pois. Tällöin tuottojen erotus ilmaisee sen kustannuksen suuruuden, joka voidaan sijoittaa arvokkaamman puulajin aikaansaamiseen.

Tässä tutkimuksessa ei ollut mahdollista selvittää kaikkia kustannuseriä, joten hieskoivikon kasvatuksen kannattavuutta pyrittiin tutkimaan vertaamalla vaihtoehtoisen puulajin, männyn, tuottoja hieskoivikon tuottoihin. Tuottojen erotus ilmaisee, kuinka paljon männyn uudistaminen saisi maksaa, jotta puulajin vaihto olisi taloudellisesti perusteltua ja missä koivikon kehitysvaiheessa puulajin vaihto kannattaa vielä suorittaa.

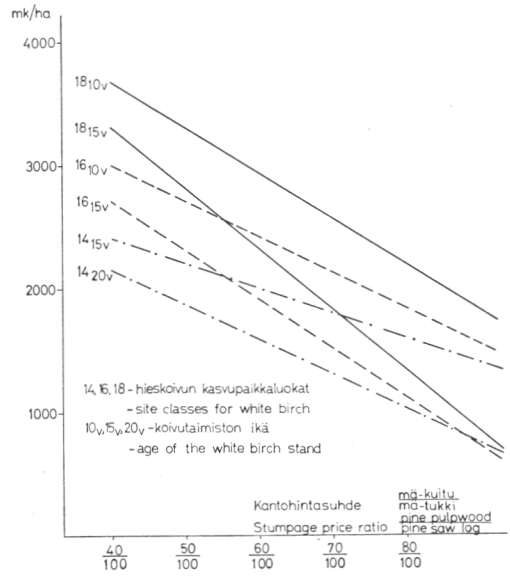
Kannattavuuslaskelmien pohjaksi valittiin männiköiden kehityssarjoista (**Vuokila** 1967) käsittelyohjelma, jossa metsikön kokonaiskasvu oli mahdollisimman suuri. Valitussa ohjelmassa harvennukset toistuvat varsin lyhyin aikavälein ja ovat lieviä. Sekä männiköiden että hieskoivikoiden kehityssarjoista laskettiin **Keltikankaan** ja **Seppälän** (1973) esittämällä tavalla tuotettujen puutavaramäärien nykyarvot kolmen ja neljän prosentin korkokantaa käyttäen. Hieskoivikoista oletettiin saatavan vain kuitupuuta kasvu- ja tuotostaulukoista ilmenevät määrät ja männiköistä sekä tukki- että kuitupuuta **Vuokilan** (1967) sarjojen mukaiset määrät. Kiertoaikoina käytettiin tutkimuksissa mainittuja lukuja.

Laskelmissa mäntytukin vakiokantohinta oli 100 mk/m³ ja mäntykuitupuun hinta vaihteli 40—90 mk/m³ sekä koivukuitupuun 30—80 mk/m³. Kun koivukuitupuun kantohinnan oletettiin olevan 10 mk/m³ pienempi kuin mäntykuitupuun, tuli koivu- ja mäntykuitupuun hintasuhteeksi 0,75—0,89 sekä koivukuitupuun ja mäntytukin väliseksi hintasuhteeksi 0,1—0,8. Kaiken kiertoajan mittaan saatavan puutavaran oletettiin olevan kantohinnaltaan yhtä arvokasta. Mainittu olettamus tehtiin molemmille puulajeille, joten siitä ei aiheutune suurta virhettä vertailuun. Koivulle laskettiin vaihtoehtoiset tuottojen nykyarvot käyttäen lähtötilanteena 5-, 10-, 15- ja 20-vuotiasta taimistoa. Näin pyrittiin saamaan käsitys siitä, minkä ikäistä hieskoivikon pitää vähintään olla, ennen kuin sitä kannattaa kasvattaa käyttöpuun mittoihin.

Kuvissa 12 ja 13 esitetään männiköiden ja hieskoivikoiden tuottojen nykyarvojen erotuksia toisiaan vastaavilla kasvupaikoilla.

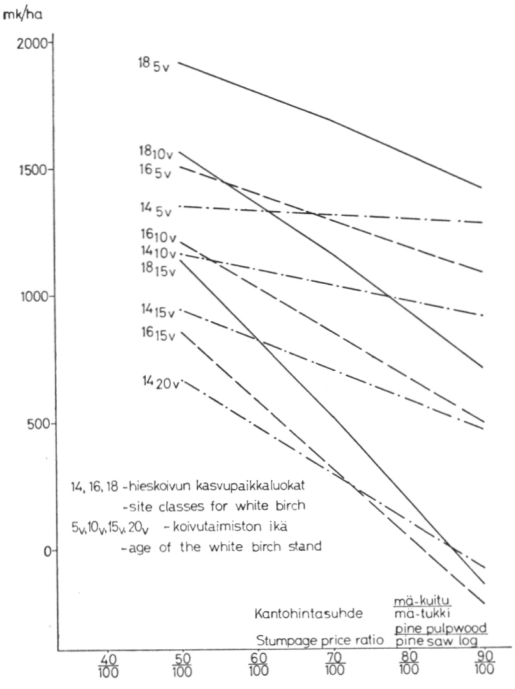
Kolmen prosentin korkovaatimusta käytettäessä (kuva 12) pitää koivi-

kon olla noin 15-vuotiasta tai vanhempaa, jotta sen kasvattaminen olisi sovellettujen hintasuhteiden vallitessa perusteltua. Mikäli koivu- ja mäntykuitupuun hintasuhde paranee koivun hyväksi niin, että kantohintaero kuutiometriä kohden on vain viisi markkaa, ei koivun poistamiseen ja männyn viljelyyn käytettävissä oleva rahamäärä pienene kuin 5—10 %. Laskelmiin vaikuttaa myös se, ettei niissä otettu huomioon männikön ja hieskoivikon taimistonhoitotoimenpiteiden eriaikaisuutta. Mikäli tämä otetaan mukaan laskelmiin, se lisää tuottoarvojen erotusta männyn hyväksi 100—150 mk/ha eli noin 5 %. Hintasuhteen paraneminen koivun hyväksi vaikuttaa nopeimmin parhaan kasvupaikkaluokan koivikon kasvatusedellytyksiin. Jos korkokantana käytetään neljää prosenttia (kuva 13), ovat kaikki 15-vuotiaat hieskoivikot kasvatuskelpoisia. 10-vuotiaita koivikoitakin kannattaa tällöin kas-



Kuva 12. Hieskoivun poistamiseen ja männyn viljelyyn käytettävissä oleva rahamäärä 3 %:n laskentakorolla vaihtelevan ikäisissä koivutaimistoissa edellyttäen, että koivukuitupuun kantohinta on 10 mk/m³ pienempi kuin mäntykuitupuun.

Fig. 12. The money available for the removal of birch and for planting pine in white birch stands of different ages on the basis of 3 % interest and the stumpage price of birch pulpwood 10 Fmks per cu.m. less than that of pine pulpwood.



Kuva 13. Hieskoivun poistamiseen ja männyn viljelyyn käytettävissä oleva rahamäärä 4 %:n laskentakorolla vaihtelevan ikäisissä koivutaimistoissa edellyttäen, että koivukuitupuun kantohinta on 10 mk/m³ pienempi kuin mäntykuitupuun.

Fig. 13. The money available for the removal of birch and for planting pine in birch stands of different ages on the basis of 4 % interest and the stumpage price of birch pulpwood 10 Fmks per cu.m. less than that of pine pulpwood.

vattaa paremmilla kasvupaikoilla (H_{50} = 18 ja 16), mutta koivutaimiston iän aletessa viiteen vuoteen on kasvatuksen kannattavuus neljän prosentin korkovaatimuksellakin jo epävarmaa.

93. Hieskoivikon kasvatuksen kannattavuuden tarkastelu ja päätelmät

Laskelmia tarkasteltaessa on suurin epävarmuustekijä koivikko- ja männikkösarjojen kasvupaikkojen vastaavuus. Vaikka turvemaiden metsiköille ei olekaan männyn tuotossarjoja, on aiemmin (esim. **Seppälä** 1969) todettu tiettyjen kivennäis- ja turvemaiden kasvupaikkojen tuotoskyvyn vastaavuus. Tämän perusteella voidaan olettaa, ettei hieskoivikon kasvatuksen kannattavuudesta anneta tässä tutkimuksessa liian edullista kuvaa.

Laskelmissa lähtökohtana ovat puhtaat yhden puulajin metsiköt. Käytännössä kuitenkin koivun seassa on usein kehityskelpoisia havupuutaimia. Nämä havupuut saavuttavat koivikon kiertoajassa pienen tukkipuun koon. Jos havupuutukkeja voidaan olettaa olevan koivikon päätehakkuuvaiheen käyttöpuumäärästä esim. 20 %, pienenee männyn viljelyyn käytettävissä oleva rahamäärä esim. kantohintojen ollessa koivukuitupuu 50 mk/m³ ja mäntytukkipuu 100 mk/m³ ja koron kolme prosenttia kasvupaikkaluokasta riippuen 560—380 mk/ha. Tämä merkitsee koivikon kasvatuksen kannattavuuden parantumista. Toisaalta tarkastelemalla päätehakkuuvaiheen hieskoivikoiden keskiläpimittoja tullaan siihen tulokseen, että kahdella parhaalla kasvupaikkaluokalla (H_{50} = 18 ja H_{50} = 16) on mahdollista, ainakin puiden koon puolesta, saada jonkin verran vanerikelpoista puuta. Rungon vaneriosuuden vaikutus kasvatuksen edullisuuteen on samansuuntainen kuin havupuusekoituksen.

Laskelmissa ei ole otettu huomioon koivikon alle mahdollisesti syntyvää havupuualikasvosta, joka vaikuttaa sekä hieskoivikon kiertoaikaan että sen kasvatuksen kannattavuuteen. Jos riittävä alikasvos syntyy ennen koivikon taloudellista päätehakkuuikää, kannattaa koivikko poistaa jo nuorempana, jotta arvokkaampi havupuumetsikkö pääsee kehittymään. Jos koivikon alle saadaan syntymään luontainen alikasvoskuusikko tai -männikkö, on koivikon kasvatus tällöin kannattava toimenpide. Tehtyjä kannattavuuslaskelmia on tässä tapauksessa tulkittava niin, että ne osoittavat järjestyksen, jossa jo syntyneitä hieskoivikoita on ryhdyttävä muuttamaan havupuumetsiköiksi samalla, kun uusien hieskoivikoiden syntyä pyritään estämään.

Koska Pohjanmaalla metsien tuotoskyky on heikompi kuin Etelä-Suomessa, on perusteltua käyttää päätelmien pohjana kolmen prosentin korkokannalla tehtyjä laskelmia. Näin edellyttäen voidaan todeta, että havupuun viljelyyn kannattaa ryhtyä:

1. Paljaan maan metsityksessä.
2. Ruoho- ja mustikkaturvekankailla, kun koivutaimisto on alle 10 vuoden ikäistä.
3. Puolukkaturvekankailla ja puolukka-mustikkatyypin kivennäismailla, kun koivutaimisto on alle 15 vuoden ikäistä ja
4. Edellä mainittuja karummilla kasvupaikoilla.

Vastaavasti voidaan todeta hieskoivun kasvatuksen kannattavan, kun:

1. Ruoho- ja mustikkaturvekankailla koivutaimisto on yli 15-vuotiasta.
2. Puolukkaturvekankailla ja puolukka-mustikkatyypin kivennäismailla koivutaimisto on yli 20-vuotiasta.
3. Koivutaimistossa on yli 500 kehityskelpoista havupuun tainta hehtaarilla.

Uusien hieskoivikoiden syntymistä on siis pyrittävä estämään ja jo olemassa olevat hieskoivikot on pyrittävä muuttamaan havupuumetsiköiksi viimeistään koivikon hakkuukypsyysiässä. Yleistäen voidaan sanoa, että viiden metrin pituus on koivutaimistolle kriittinen raja, jonka alapuolelle jäävät koivuvesakot uudistetaan männylle ja ylittäneet kasvatetaan käyttöpuuksi.

KIRJALLISUUS — *References*

ASSMAN, E. 1970. The principles of forest yield study. Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands. 506 s. Oxford. Pergamon Press.

FRIES, J. 1964. Vårtbjörkens produktion i Svealand och södra Norrland. Summary: Yield of *Betula verrucosa*, Ehrh. in middle Sweden and southern north Sweden. Stud. For. Suec. 14: 1—303.

HEIKURAINEN, L. 1960. Metsäojitus ja sen perusteet. 378 s. Porvoo. WSOY.

HUIKARI, O. 1952. Suotyypin määritys maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmällä pitäen. Summary: On the determination of mire types, especially considering their drainage value for agriculture and forestry. Silva Fenn. 75: 1—22.

— » — 1954. Experiments on the effect of anaerobic media upon birch, pine and spruce seedlings. Seloste: Kokeita kasvualustan anaerobisuuden vaikutuksesta koivun, männyn ja kuusen taimiin. Commun. Inst. For. Fenn. 422 (5): 1—13.

HÄGGLUND, B. 1972. Om övre höjdens utveckling för gran i norra Sverige. Summary: Site index curves for Norway spruce in northern Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 21: 1—298.

— » — 1973. Om övre höjdens utveckling gör gran i södra Sverige. Summary: Site index curves for Norway spruce in southern Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 24: 1—49.

ILVESSALO, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulukot Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta For. Fenn. 15 (4): 1—94.

— » — 1932. The establishment and measurement of permanent sample plots in Suomi (Finland). Selostus: Pysyvien koealojen perustaminen ja mittaus Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 17 (2): 1—39.

— » — 1948. Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot. 148 s. Helsinki.

— » — 1956. Suomen metsät vuosista 1921—24 vuosiin 1951—53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Summary: The forests of Finland from 1921—24 to 1951—53. A survey based on three national forest inventories. Commun. Inst. For. Fenn. 47 (1): 1—227.

— » — 1959. Suomen metsien hakkuumahdollisuudet metsävarojen kehittämiseen tähtäävän hakkuusuunnitteen valossa. Summary: Cutting possibilities of the forests of Finland in the light of allowable cut, aiming at the development of forest resources. Commun. Inst. For. Fenn. 51 (9): 1—44.

ILVESSALO, Y. ja M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuottokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. Acta For. Fenn. 144: 1—101.

JENSEN, C. E. 1973. Matchacurve-3: Multiple-component and multidimensional mathematical models for natural resource studies. USDA Forest Service Research Paper INT-146: 1—42.

KALELA, E. K. 1961. Uber die naturliche Bewaldung der Kulturböden im sog. Porkkala-Pachtgebiet. Selostus: Viljelymaiden luontaisesta metsittymisestä ns. Porkkalan vuokra-alueella. Acta For. Fenn. 74 (2): 1—83.

KELTIKANGAS, M. & SEPPÄLÄ, K. 1973. Metsänlannoituksen edullisuuden vaihtelu. Summary: Variations in the profitability of forest fertilization. Silva Fenn. 7 (3): 192—235.

KOIVISTO, P. 1957. Etelä-Suomen hoidettujen raudus- ja hieskoivikoiden kehityksestä. 158 s. Moniste. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitos.

— » — 1972. Kainuun ja Pohjanmaan talousmänniköiden kehityksestä. Summary: On the development of Scots pine stands in central Finland. Folia For. 142: 1—19.

KOLKKI, O. 1966. Tables and maps of temperature in Finland during 1931—1960. Meteorol. Yearb. Finland 65, 1a: 1—41.

KUJALA, V. 1946. Koivututkimuksia. Summary: Some recent research data on birches. Commun. Inst. For. Fenn. 34 (1): 1—36.

LAPPI-SEPPÄLÄ, M. 1930. Untersuchungen über die Entwicklung gleichhaltriger Mischbestände aus Kiefer und Birke, basiert auf Material aus der Südhälfte von Suomi (Finland). Seloste: Tutkimuksia tasaikäisen mänty-koivu-sekametsikön kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 15 (2): 1—241.

Metsätilastollinen vuosikirja. 1973. Yearbook of forest statistics. Folia For. 225: 1—224.

PEKKONEN, T. 1973. Yhteenveto metsikkötunnusten laskusta. 16 s. Moniste. Metsäntutkimuslaitos. Metsänarvioimisen tutkimusosasto.

RAULO, J. 1977. Development of dominant trees in *Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh. plantations. Suomenkielinen seloste: Viljeltyjen raudus- ja hieskoivikoiden valtapuiden kehitys. Commun. Inst. For. Fenn. 90 (3).

SEPPÄLÄ, K. 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemailla. Summary: Post-drainage growth rate of Norway spruce and Scots pine on peat. Acta For. Fenn. 93: 1—88.

SEPPÄLÄ, R. 1970. Otanta ja kokeensuunnittelu. Metsäntutkimuslaitoksen tilastokurssi. 51 s. Moniste. Metsäntutkimuslaitos. Matemaattinen osasto.

VUOKILA, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Seloste: Tilapäiskoealoihin perustuvat yhtälöt männyn kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Commun. Inst. For. Fenn. 60 (4): 1—86.

— » — 1967. Eriasteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Summary: Growth and yield tables for pine stands treated with intermediate cuttings of varying degree for southern Central-Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 63 (2): 1—123.

— » — 1970. Viljelymetsiköiden kasvu- ja tuotostutkimus; kenttätyön ohjeet. 62 s. Moniste. Metsäntutkimuslaitos. Metsänarvioimisen tutkimusosasto.

— » — 1971. Harvennusmallit luontaisesti syntyneille männiköille ja kuusikoille. Summary: Thinning models for natural pine and spruce stands in Finland. Folia For. 99: 1—19.

SUMMARY

The investigation is based on 40 temporary sample plots measured on drained peatlands in white birch stands within the geographic area indicated by Fig. 1. The additional reference material comprises 22 sample plots on mineral soils, 11 of them in white birch and another 11 in common birch *(Betula verrucosa* Ehrh.*)* stands. Some details about the material are given in Tables 1—2, and in Figs. 2—3. A description of the individual plots is to be seen in Appendix 2.

To classify the sites, a regression function was derived to indicate the development of dominant height. By means of this function site index curves were drawn (Fig. 5) based on the dominant height reached at the age of 50 years (H_{50}). Following H_{50} site classes were used in the present study: 18, 16, 14 and 12. These site classes cover the total field of variation encountered in the case of white birch within the area in question.

Three different regression functions to estimate the increment of individual trees are given. They can be used to estimate the future 5-year increment per cent of the tree height (Table 3), the basal area (Table 4) and the cubic volume (Table 5). The tree functions were not applied in the construction of growth and yield tables, however.

The stand increment functions which form the basis for the growth and yield tables are given in Table 6 (stand basal area) and in Table 7 (stand cubic volume). These functions were found to give reliable estimates of the stand development.

The starting age for the growth and yield tables (Appendix 1) was set at 25 years. Two initial densities, as indicated by the number of stems per ha., were applied in the calculation of the tables. The initial density of c. 2500 trees per ha. is aimed at the maximum yield of pulpwood, while the density of c. 1600 trees per ha. is motivated by the production of more valuable timber.

In the yield tables thinnings, 1—2 in number, always remove 30 % of the cubic volume excl. bark. In the case of no thinning, the mortality has been estimated to be 18 % ($H_{50} = 18$) 10 % ($H_{50} = 16$) or 4 % ($H_{50} = 14$).

The rotation age was determined on the basis of the volume increment per cent which is approximately equal to the value increment per cent in the latter part of the stand life. The rotation age was set at the phase of development when the cubic volume increment per cent equals 3 %. This gives rotation ages of 50—70 years, with an average of 65 years.

The problem proper within the geographic area concerned is: should a young white birch stand naturally regenerated on drained peatlands be allowed to grow or would it be more profitable to replace it by planting coniferous tree species, normally pine?

Presupposing a 3 % rate of interest, it is advisable to go on growing young white birch stands of 10—15 years of age. In more general terms, it can be stated that white birch stands higher than 5 m. are eligible for continued growing. This recommendation refers to pure birch stands which do not yield any appreciable amounts of raw material for the plywood industry.

LIITE 1 — *Appendix 1*

Kasvu- ja tuotostaulukot — *Growth and yield tables*

Lyhenteet — *Abbreviations*

T	metsikön kannonkorkeusikä, v — *stand age at stump height, years*
H_{dom}	metsikön valtapituus, m — *dominant height, m.*
N	metsikön runkoluku kpl/ha — *number of stems per ha.*
D_{gb}	metsikön pohjapinta-alalla painotettu kuorellinen keskiläpimitta, cm — *mean diameter (incl. bark) weighted by basal areas, cm.*
D_{gu}	pohjapinta-alalla painotettu kuoreton keskiläpimitta, cm — *mean diameter (excl. bark) weighted by basal areas, cm.*
G	metsikön kuorellinen pohjapinta-ala, m^2/ha — *basal area (incl. bark), sq. m. per ha.*
V_b	metsikön kuorellinen kuutiomäärä, m^3/ha — *cubic volume (incl. bark), cu.m. per ha.*
V_u	metsikön kuoreton kuutiomäärä, m^3/ha — *cubic volume (excl. bark), cu.m. per ha.*
B_b	metsikön kuoriprosentti laskettuna kuorellisesta kuutiomäärästä, % — *bark per cent calculated from the volume (incl. bark).*
B_u	kuoriprosentti laskettuna kuorettomasta kuutiomäärästä, % — *bark per cent calculated from the volume (excl. bark),* %
K	metsikön käyttöpuun (d > 6 + cm) kuorellinen kuutiomäärä, m^3/ha — *usable (d > 6 + cm) volume (incl. bark), cu.m. per ha.*
$W_{\%}$	hukkapuuprosentti, % — *waste wood per cent calculated from the volume (incl. bark),* %.
I_V	metsikön 5-vuotisjakson keskimääräinen vuotuinen kuorellinen kuutiokasvu, m^3/ha — *mean annual volume increment (incl. bark) of the 5-year period, cu.m. per ha.*
P_V	metsikön 5-vuotisjakson keskimääräinen vuotuinen kuutiokasvuprosentti laskettuna keskimääräisestä kuorellisesta kuutiomäärästä — *mean annual volume increment percentage of the 5-year period calculated from the mean volume (incl. bark) of that period.*
$\bar{v}$	metsikön puiden keskikuutio, m^3 — *mean volume of the trees, cu.m.*
Y_V	metsikön kokonaiskuutiokasvu kuorineen, m^3/ha — *yield in stem volume (incl. bark), cu.m. per ha.*
Y_G	metsikön pohjapinta-alan kokonaiskasvu kuorineen, m^2/ha — *yield in basal area (incl. bark), sq.m. per ha.*
Y_K	metsikön käyttöpuun (d > 6 + cm) kokonaistuotos kuorineen, m^3/ha — *yield in usable wood (d > 6 + cm) (incl. bark), cu.m. per ha.*

LIITE 1

Kasvupaikkaluokka
Site class $H_{50} = 18$ Ei harvennuksia — *No thinning*

Pystypuusto — *Standing trees*											Kokonaiskasvu — *Yield*		
T	H_{dom}	N	D_{gb}	G	V_b	B_b	K	I_V	P_V	$\bar{v}$	Y_V	Y_G	Y_K
25	11,0	2350	9,2	15,4	72,4	17,2	47,9				72,4	15,4	47,9
30	12,4	2350	10,2	19,2	105,6	16,5	80,4	6,6	7,4		105,6	19,2	80,4
35	13,8	2340	11,1	22,6	141,5	16,0	116,3	7,2	5,8		141,5	22,6	116,3
40	15,2	2290	11,9	25,5	177,7	15,7	153,3	7,6	4,7		179,6	25,8	154,9
45	16,6	2170	12,8	27,9	210,2	15,3	187,3	7,6	3,8		217,8	28,9	194,1
50	18,0	2040	13,6	29,7	239,4	15,0	218,7	7,3	3,1		254,4	31,6	232,4
55	19,5	1840	14,6	30,8	259,8	14,6	242,3	6,8	2,5		288,2	34,3	268,8
60	21,0	1630	15,7	31,6	274,0	14,3	259,6	6,2	2,0		319,0	37,1	302,3
65	22,5	1440	16,8	32,0	285,0	14,0	273,3	5,7	1,7	,198	347,6	39,7	333,3

Kasvupaikkaluokka Harvennuksia 2 kpl — *2 thinnings*
Site class $H_{50} = 18$ Poisto 30 % — *Removal 30 %*

Pystypuusto — *Standing trees*											Kokonaiskasvu — *Yield*		
T	H_{dom}	N	D_{gb}	G	V_b	B_b	K	I_V	P_V	$\bar{v}$	Y_V	Y_G	Y_K
25	11,0	2350	9,2	15,4	72,4	17,2	47,9				72,4	15,4	47,9
30	12,4	2350	10,2	19,2	105,6	16,5	80,4	6,6	7,4		105,6	19,2	80,4
35	13,8	2340	11,1	22,6	141,5	16,0	116,3	7,2	5,8		141,5	22,6	116,3
40	15,2	2290	11,9	25,5	177,7	15,7	153,2	7,6	4,7		179,6	25,8	154,9
40*	15,2	1350	13,1	18,7	125,0	15,2	112,5						
45	16,6	1350	14,1	21,2	157,8	14,8	145,5	6,6	4,7		212,4	28,3	187,2
50	18,0	1350	15,0	23,4	192,4	14,6	180,4	6,9	3,9		247,0	30,5	222,8
50**	18,0	800	16,2	17,3	134,2	14,2	127,8						
55	19,5	800	17,3	19,2	164,5	13,9	158,3	6,1	4,1		277,3	32,4	253,3
60	21,0	800	18,4	20,9	196,4	13,7	190,4	6,4	3,5		309,2	34,1	285,4
65	22,5	800	19,4	22,5	229,1	13,5	223,4	6,5	3,1	,286	341,9	35,7	318,4
Harvennukset — *Thinnings*													
40*		940	9,6	6,8	52,7	16,7	40,7			,056	52,7	6,8	40,7
50**		550	11,9	6,1	58,2	15,3	52,6			,106	110,9	12,9	93,3

Kasvupaikkaluokka
Site class $H_{50} = 16$ Ei harvennuksia — *No thinning*

Pystypuusto — *Standing trees*											Kokonaiskasvu — *Yield*		
T	H_{dom}	N	D_{gb}	G	V_b	B_b	K	I_V	P_V	$\bar{v}$	Y_V	Y_G	Y_K
25	9,2	2680	7,8	12,8	49,0	18,4	19,5				49,0	12,8	19,5
30	10,7	2660	9,0	16,9	78,6	17,3	49,4	5,9	9,2		78,6	16,9	49,5
35	12,2	2600	10,0	20,4	110,2	16,6	82,6	6,6	6,9		111,5	20,6	83,6
40	13,5	2600	10,8	23,9	146,6	16,2	118,3	7,3	5,6		147,9	24,1	119,4
45	14,8	2540	11,6	26,8	181,9	15,8	154,2	7,5	4,5		185,3	27,6	157,0
50	16,0	2510	12,2	29,4	219,0	15,5	191,2	7,7	3,8		223,7	30,4	195,3
55	17,3	2360	13,0	31,4	248,4	15,2	222,8	7,4	3,1		260,7	33,4	233,8
60	18,6	2190	13,8	32,7	272,3	14,9	249,6	6,8	2,4		294,8	35,9	270,2
65	19,9	2040	14,5	33,7	293,7	14,7	273,3	6,4	2,1	,144	326,6	38,2	304,0

Kasvupaikkaluokka Harvennuksia 2 kpl — *2 thinnings*
Site class $H_{50} = 16$ Poisto 30 % — *Removal 30 %*

Pystypuusto — *Standing trees*											Kokonaiskasvu — *Yield*		
T	H_{dom}	N	D_{gb}	G	V_b	B_b	K	I_V	P_V	$\bar{v}$	Y_V	Y_G	Y_K
25	9,2	2680	7,8	12,8	49,0	18,4	19,5				49,0	12,8	19,5
30	10,7	2660	9,0	16,9	78,6	17,3	49,4	5,9	9,2		78,6	16,9	49,4
35	12,2	2600	10,0	20,4	111,5	16,6	83,6	6,6	6,9		111,5	20,6	83,6
40	13,5	2600	10,8	23,9	146,6	16,2	118,3	7,3	5,6		147,9	24,1	119,4
40*	13,5	1600	11,8	17,6	103,2	15,7	88,4						
45	14,8	1600	12,7	20,3	133,9	15,3	119,0	6,1	5,1		178,6	26,8	150,0
50	16,0	1600	13,4	23,0	167,3	15,1	152,0	6,7	4,4		212,0	29,5	183,0
50**	16,0	1000	14,5	16,9	116,6	14,7	108,5						
55	17,3	1000	15,5	19,1	145,4	14,4	137,2	5,8	4,4		240,8	31,7	211,7
60	18,6	1000	16,4	21,2	176,1	14,2	167,9	6,1	3,8		271,5	33,8	242,4
65	19,9	1000	17,2	23,0	208,1	14,0	200,0	6,4	3,3	,208	303,5	35,6	274,5
Harvennukset — *Thinnings*													
40*		1000	9,0	6,3	43,4	17,2	29,9			,043	43,2	6,3	29,9
50**		600	11,4	6,1	50,7	16,0	43,5			,084	94,1	12,4	73,4

Kasvupaikkaluokka
Site class $H_{50} = 16$ Ei harvennuksia — *No thinning*

Pystypuusto — *Standing trees*											Kokonaiskasvu — *Yield*		
T	H_{dom}	N	D_{gb}	G	V_b	B_b	K	I_V	P_V	$\bar{v}$	Y_V	Y_G	Y_K
25	9,2	1570	8,2	8,3	30,5	18,0	15,0				30,5	8,3	15,0
30	10,7	1570	9,6	11,4	49,3	16,8	34,8	3,8	9,5		49,3	11,4	34,8
35	12,2	1500	10,9	14,0	70,0	16,2	56,8	4,5	7,4		71,6	14,3	58,0
40	13,5	1500	11,9	16,7	95,6	15,6	82,4	5,1	6,0		97,2	17,0	83,8
45	14,8	1500	12,8	19,5	125,9	15,3	112,4	6,1	5,4		127,5	19,8	113,8
50	16,0	1500	13,6	22,2	158,4	15,0	144,5	6,5	4,5		160,0	22,5	145,9
55	17,3	1500	14,4	24,4	191,9	14,7	178,2	6,7	3,8		193,5	24,7	179,6
60	18,6	1450	15,2	26,4	222,6	14,5	209,4	6,9	3,3		228,0	27,1	214,5
65	19,9	1400	16,0	28,1	251,5	14,3	238,8	6,7	2,7	,180	261,3	29,3	248,2

Kasvupaikkaluokka Harvennuksia 1 kpl — *1 thinning*
Site class $H_{50} = 16$ Poisto 30 % — *Removal 30 %*

Pystypuusto — *Standing trees*											Kokonaiskasvu — *Yield*		
T	H_{dom}	N	D_{gb}	G	V_b	B_b	K	I_V	P_V	$\bar{v}$	Y_V	Y_G	Y_K
25	9,2	1570	8,2	8,3	30,5	18,0	15,0				30,5	8,3	15,0
30	10,7	1570	9,6	11,4	49,3	16,8	34,8	3,8	9,5		49,3	11,4	34,8
35	12,2	1500	10,9	14,0	71,6	16,2	58,0	4,5	7,4		71,6	14,3	58,0
40	13,5	1500	11,9	16,7	95,6	15,6	82,4	5,1	6,0		97.2	17,0	83,8
45	14,8	1500	12,8	19,5	125,9	15,3	112,4	6,1	5,4		127,5	19,8	113,8
50	16,0	1500	13,6	22,2	158,4	15,0	144,5	6,5	4,5		160,0	22,5	145,9
50*	16,0	940	14,6	16,3	111,6	14,7	104,0						
55	17,3	940	15,6	18,5	139,5	14,4	131,9	5,6	4,5		187,9	24,7	173,8
60	18,6	940	16,5	20,5	169,5	14,1	161,9	6,0	3,9		217,9	26,7	203,8
65	19,9	940	17,4	22,4	200,9	13,9	193,3	6,3	3,4		249,3	28,6	235,2
70	21,2	940	18,2	24,0	233,3	13,7	225,8	6,5	3,0	,248	281,7	30,2	267,7
Harvennukset — *Thinnings*													
50*		560	11,6	5,9	46,8	15,7	40,5			,083	46,8	5,9	40,5

Kasvupaikkaluokka
Site class $H_{50} = 14$ Ei harvennuksia — *No thinning*

Pystypuusto — *Standing trees*											Kokonaiskasvu — *Yield*		
T	H_{dom}	N	D_{gb}	G	V_b	B_b	K	I_V	P_V	$\bar{v}$	Y_V	Y_G	Y_K
25	6,8	2730	5,8	7,2	18,9	20,6	—				18,9	7,2	—
30	8,6	2360	7,6	10,7	34,7	18,5	11,9	3,7	13,2		37,2	11,4	12,8
35	10,2	2110	9,1	13,7	52,9	17,3	33,9	4,2	8,8		58,4	15,1	37,5
40	11,6	2040	10,2	16,6	76,3	16,5	58,3	4,9	6,9		83,1	18,3	63,5
45	12,8	2040	11,1	19,7	105,1	16,1	86,3	5,8	5,9		111,9	21,4	91,8
50	14,0	2040	11,9	22,7	137,0	15,7	117,6	6,4	5,0		143,8	24,4	123,4
55	15,1	2040	12,5	25,5	171,3	15,4	150,9	6,9	4,3		178,1	27,2	156,9
60	16,3	2040	13,2	27,9	206,4	15,2	186,1	7,0	3,6		213,2	29,6	192,2
65	17,4	2030	13,7	30,0	241,0	15,0	220,6	7,0	3,0		248,4	31,8	227,4
70	18,5	1980	14,3	31,8	272,2	14,8	252,3	6,9	2,6	,137	283,0	34,0	262,4

Kasvupaikkaluokka Harvennuksia 1 kpl — *1 thinning*
Site class $H_{50} = 14$ Poisto 27 % — *Removal 27 %*

Pystypuusto — *Standing trees*											Kokonaiskasvu — *Yield*		
T	H_{dom}	N	D_{gb}	G	V_b	B_b	K	I_V	P_V	$\bar{v}$	Y_V	Y_G	Y_K
25	6,8	2730	5,8	7,2	18,9	20,6	—				18,9	7,2	—
30	8,6	2360	7,6	10,7	34,7	18,5	11,9	3,7	13,2		37,2	11,4	12,8
35	10,2	2110	9,1	13,7	52,9	17,3	33,9	4,2	8,8		58,4	15,1	37,5
40	11,6	2040	10,2	16,6	76,3	16,5	58,3	4,9	6,9		83,1	18,3	63,5
45	12,8	2040	11,1	19,7	105,1	16,1	86,3	5,8	5,9		111,9	21,4	91,8
50	14,0	2040	11,9	22,7	137,0	15,7	117,6	6,4	5,0		143,8	24,4	123,4
50*	14,0	1300	12,8	16,7	100,1	15,3	89,2						
55	15,1	1300	13,6	19,2	127,3	15,0	116,0	5,4	4,7		171,0	26,9	150,2
60	16,3	1300	14,4	21,5	156,9	14,7	145,5	5,9	4,2		200,6	29,2	179,7
65	17,4	1300	15,0	23,7	188,3	14,5	176,6	6,3	3,7		232,0	31,4	210,8
70	18,5	1300	15,7	25,8	220,6	14,4	208,8	6,5	3,2	,170	264,3	33,5	243,0
Harvennukset — *thinnings*													
50*		740	10,2	6,0	37,0	16,7	28,4			,050	37,0	6,0	28,4

LIITE 2

Koealojen mittaustietoja

N:o	Kasvupaikkaluokka H_{50}	Ikä T vuotta	Valtapituus H_{dom} m	Runkoluku N kpl/ha	Keskiläpimitta D_g cm	Pohjapinta-ala G m^2/ha		Kuutiomäärä V m^3/ha		5 vuotta aiemmin kuoretta			
						kuorineen	kuoretta	kuorineen	kuoretta	H_{dom}	D_g	G	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
HIESKOIVIKOT													
1	16	42	14,2	5282	9,5	24,8	21,7	228	197	13,1	8,8	18,5	152
2	16	44	13,8	2100	10,7	18,1	15,9	103	89	12,8	10,1	13,9	70
3	16	50	15,1	1380	13,0	17,2	15,1	105	91	13,9	11,4	12,5	70
4	16	35	12,0	2083	10,4	18,1	15,9	104	90	10,8	9,1	12,3	63
5	18	35	15,5	1924	11,9	19,9	17,5	131	114	13,9	11,4	14,1	84
6	16	46	14,6	1200	12,9	15,3	13,1	87	75	12,8	11,6	10,5	56
7	16	39	13,2	2181	11,4	18,8	16,3	139	120	11,6	10,1	13,1	90
8	12	48	12,6	1851	10,8	15,0	12,4	82	67	11,0	9,3	9,0	46
9	12	69	17,2	1572	14,6	21,0	18,0	148	127	15,9	13,7	15,7	105
10	18	41	15,6	2215	12,5	26,3	22,8	181	155	14,1	11,4	19,1	119
12	12	66	16,6	1991	15,0	21,3	18,3	155	135	15,2	13,8	15,5	107
13	12	86	16,7	2559	12,6	22,7	18,7	308	260	15,8	12,0	17,1	215
14	14	60	15,7	1655	13,5	19,4	16,5	132	112	14,8	12,8	15,0	98
15	18	41	16,1	5824	10,5	35,7	29,9	226	190	14,6	9,9	25,6	149
16	18	33	13,0	11667	6,7	25,0	20,4	136	112	12,0	6,3	18,2	96
17	18	33	13,6	3185	9,2	20,1	16,3	111	90	12,2	8,5	13,9	73
18	18	39	17,1	1945	12,5	23,8	20,0	166	138	15,7	11,6	16,9	112
19	14	50	14,2	5920	9,8	24,2	19,4	232	183	13,1	9,2	17,2	157
20	16	52	15,9	2022	12,7	19,7	15,9	127	103	15,0	12,0	14,3	89
21	16	36	13,8	2103	10,9	18,8	15,4	107	88	12,6	9,9	12,8	70
22	16	37	13,4	2192	10,4	18,1	14,9	100	82	12,2	9,4	12,2	60
23	16	44	14,2	2499	11,1	22,7	18,5	130	106	12,7	9,9	14,8	81
24	12	56	13,0	1678	10,7	14,5	11,5	75	60	12,1	9,8	9,7	48
25	18	33	13,3	3428	9,3	24,1	19,5	143	116	11,2	8,0	14,8	76
26	16	53	16,2	2180	12,9	25,6	20,9	178	144	15,1	12,0	18,3	117
30	12	96	19,5	351	20,0	10,3	8,9	88	75	18,7	18,9	8,1	66
31	16	56	16,7	513	16,0	9,7	8,4	76	65	16,0	14,8	7,2	53
32	16	42	13,5	513	13,2	6,6	5,6	39	33	12,1	11,4	4,2	23
33	12	101	18,2	999	16,5	19,5	15,9	164	136	17,6	15,9	14,8	124
34	12	78	17,4	856	15,1	12,6	10,7	95	81	16,4	14,1	9,5	70
35	12	97	18,8	680	17,2	16,3	14,0	138	114	18,0	16,3	12,4	98
36	16	42	13,9	1318	12,4	15,3	13,0	88	74	12,6	10,9	9,6	53
37	14	40	11,8	1912	10,8	14,8	12,3	75	62	10,3	9,2	9,2	41
40	18	39	14,3	2740	10,8	24,2	20,4	161	134	13,0	10,0	17,5	108
41	14	52	14,9	837	15,3	16,2	13,7	108	90	13,6	14,0	11,5	72
42	16	43	14,1	1201	14,2	18,9	16,1	130	110	12,7	12,9	13,3	84
43	14	29	8,9	3060	6,0	6,6	5,0	33	25	7,0	4,5	2,8	13
46	16	86	23,6	832	19,9	18,6	16,5	213	186	22,7	19,6	16,0	166
50	14	71	18,1	487	17,3	10,5	9,1	79	68	16,8	16,0	7,7	56
51	16	71	21,7	1236	17,4	23,7	20,2	214	182	20,3	17,0	19,3	163

N:o	Kasvupaikkaluokka H_{50}	Ikä T vuotta	Valtapituus H_{dom} m	Runkoluku N kpl/ha	Keskiläpimitta D_g cm	Pohjapinta-laa G m^2/ha		Kuutiomäärä V m^3/ha		5 vuotta aiemmin kuoretta			
						kuorineen	kuoretta	kuorineen	kuoretta	H_{dom}	D_g	G	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
HIESKOIVIKOT													
52	18	41	17,4	2666	12,5	27,9	24,3	192	166	15,9	11,6	20,8	131
53	18	37	14,8	3799	10,7	30,9	26,3	197	169	13,1	9,9	22,6	131
55	16	36	13,8	2449	11,6	21,4	18,6	112	98	11,7	10,5	14,8	75
56	14	38	11,6	3574	9,1	19,9	16,8	99	83	10,2	8,1	13,4	60
57	16	20	7,3	433	6,1	1,4	1,1	5	4	5,4	3,2	0,3	1
60	12	67	11,2	2757	10,4	17,2	14,5	89	76	10,4	10,1	13,5	67
61	16	35	11,8	2687	10,0	19,4	17,0	100	87	10,8	9,1	14,1	67
62	12	71	15,6	1325	15,1	20,2	17,8	136	118	14,4	14,4	16,0	101
63	12	74	16,8	2999	13,1	28,2	23,9	181	154	16,1	12,7	22,4	140
64	12	71	12,8	2533	9,8	15,9	13,4	86	72	12,4	9,5	12,6	66
65	12	75	13,0	2383	10,6	20,3	17,5	113	96	12,4	10,3	16,3	85
RAUDUSKOIVIKOT													
27	18	36	16,5	3643	10,2	25,7	21,7	172	143	14,9	9,3	18,2	106
38	14	81	20,9	415	20,3	13,0	11,2	131	113	19,8	19,3	10,1	99
39	16	65	20,4	366	21,5	14,1	12,3	132	114	19,0	20,2	10,7	96
44	16	73	21,5	1954	15,2	31,8	27,5	275	241	20,2	14,7	25,8	215
45	16	67	19,1	1408	18,0	26,1	22,8	206	180	18,0	17,4	21,4	159
47	18	60	21,9	568	19,0	12,3	10,9	133	117	20,4	18,1	9,8	100
48	16	61	18,6	2812	12,7	25,9	22,1	189	160	17,3	12,4	21,3	148
49	16	77	21,6	495	19,2	13,0	11,3	135	118	20,2	18,5	10,5	105
54	16	66	19,1	2380	12,8	20,5	17,7	163	142	17,9	12,2	16,1	123
58	14	65	17,9	1380	14,5	20,8	18,2	149	132	16,7	13,9	16,8	113
59	14	67	17.6	1498	14,8	20,9	18,0	142	122	16,7	14,3	16,7	108

ODC
232.216:
322.41

EFFECT OF SOIL TREATMENT, LIMING, AND PHOSPHATE FERTILIZATION ON INITIAL DEVELOPMENT OF BARE-ROOTED SCOTS PINE TRANSPLANTS

KARI MUTKA and ERKKI LÄHDE

Seloste

MAAN KÄSITTELYN, KALKITUKSEN JA FOSFORILANNOITUKSEN VAIKUTUS PALJASJUURISTEN MÄNNYN TAIMIEN ALKUKEHITYKSEEN

HELSINKI 1977

ODC 232.216:322.41
ISBN 951-40-0260-1
ISSN 0026-1610

MUTKA, K. and LÄHDE, E. 1977. Effect of soil treatment, liming, and phosphate fertilization on initial development of bare-rooted Scots pine transplants. Seloste: Maan käsittelyn, kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (3): 1—57.

The data was collected in North Finland on an experimental area plot near the Arctic Circle. Three years after outplanting, the initial development of Scots pine transplants (*Pinus silvestris* L.) was studied to determine the effect of various soil treatments combined with liming (three levels) or phosphate fertilization (three levels). The soil treatments were scalping, complete tilling, and the tilt and shoulder made by ploughing. In addition, the effect of soil treatment on physical properties of the soil was studied. Fertilization did not affect transplant development. In contrast, there were differences between the effects of the soil treatments. The physical properties of the soil and development of the transplants indicated that the best reforestation point was the ploughed tilt, and the patch was the poorest. Complete tilling and the ploughed shoulder gave intermediate results.

Tutkimuksen aineisto on kerätty Pohjois-Suomesta lähellä napapiiriä sijaitsevalta koekentältä Kokeissa selvitettiin erilaisten maan käsittelyjen; laikutuksen, täysmuokkauksen sekä aurauksen pientareen ja palteen sekä toisaalta maan käsittelyn ja kalkituksen (3 tasoa) sekä maan käsittelyn ja fosforilannoituksen (3 tasoa) vaikutusta männyn taimien alkukehitykseen kolme kasvukautta istutuksen jälkeen. Lisäksi selvitettiin maan käsittelyn vaikutusta maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Lannoitus ei vaikuttanut taimien kehitykseen. Sen sijaan maan käsittelyjen välillä oli eroja. Maan fysikaalisten ominaisuuksien mittaus sekä taimien kehitys osoittivat, että edullisin viljelykohta oli aurauksen palle ja epäedullisin laikku. Täysmuokkaus ja aurauksen piennar asettuivat edellä mainittujen välille.

ISBN 951-40-0260-1
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

PREFACE

The field experiment for the present study was established during 1969—70. It represents part of the program of the reforestation research group formed within the Finnish Forest Research Institute. Drs. Eino **Mälkönen** and Matti **Leikola** were responsible for the experimental design; forest rangers Teuvo **Levula,** Jaakko **Rokkonen,** Pekka **Suolahti** and Tapani **Vartiainen,** foreman Pentti **Räsänen,** students Kai **Kolehmainen** and Ulla **Mutka,** research assistant Sirkka **Tapaninen** and Kaarina **Niska,** M. Sc., assisted in the research.

Most of the data for this study were collected and analyzed by Kari **Mutka.** The authors jointly planned the study and prepared the manuscript for publication.

The manuscript has been read by Yrjö **Norokorpi,** M. Sc., professor Tauno **Kallio,** and acting professor Matti **Leikola.** The translation from Finnish to English was made by Kim von **Weissenberg,** Ph. D. and the English was checked by John **Derome,** B. Sc. and Joan von **Weissenberg,** Ph. D. Kullervo **Etholén,** M. Sc. translated the Russian publications presented in this study. We would like to express our appreciation to the above-mentioned and to all other persons who have helped us to complete this work.

Jyväskylä and Rovaniemi, May 1976

Kari Mutka *Erkki Lähde*

CONTENTS

PREFACE 3

1. INTRODUCTION 5

2. MATERIALS AND METHODS 7

21. Experimental area and design 7

22. Determination of soil properties 9

23. Transplant characteristics 11

24. Weather conditions during the experiment 13

25. Data processing 14

3. RESULTS 15

31. Physical properties of the soil 15

Soil structure and temperature 15

Soil water content and porosity 15

Water and air permeability of the soil 20

32. Transplant development 20

Survival rate and condition 20

Height and height growth 23

Other shoot characteristics 23

Shoot damage 29

Development of the root system 31

33. Comparisons between transplants and volunteers 35

4. DISCUSSION 38

5. SUMMARY 44

6. REFERENCES 46

7. SELOSTE 52

1. INTRODUCTION

Excessively high water content in the soil often becomes a factor limiting tree growth in northern Finland. The wet soil remains cold, gas exchange in the soil is restricted, decomposition of humus is retarded, and respiration and growth of the roots are hindered (e.g., **Lähde** 1973, 1974a). Consequently, the root system becomes sparsely branched, shallow and stunted (e.g., **Aaltonen** 1920, **Laitakari** 1927, **Kalela** 1950, **Sirén** 1955, **Lähde** and **Siltanen** 1973, **Lähde** and **Mutka** 1974b). Efficient soil treatment such as ploughing drains off excess water and, in addition, facilitates reforestation operations.

In Europe one of the most important benefits of soil treatment is considered to be that leached nutrients become available to the plants. It has been found, however, that in podsolic soils in Finland the leached compounds (with the exception of iron, aluminum and silica) are not retained in the surface layers but are leached farther down in the soil (**Aaltonen** 1940). According to **Viro** (1967), the exchangeable nutrients of the soil are to be found in the humus and upper mineral soil layers. Consequently, true return of nutrients for plant use is not achieved by soil treatment (cf. also **Suvorov** 1969). A slight accumulation of nutrients in the tilt may occur, if the soil treatment used results in a double layer of humus.

On fine-textured sites the lifting of soil from greater depths may cause the accumulated iron and aluminum to pass into the soil solution and thereby poison the soil (cf. **Lähde** and **Mutka** 1974b). In Europe and also in the Soviet Union (e.g., **Stratonovich** 1966, **Suvorov** 1969) effective methods of soil treatment have for a long time been used to promote reforestation, but the results obtained there may not always be indisputably applicable to the conditions in North Finland.

The first results concerning the success of seedlings after, for instance ploughing, in North Finland, were obtained at the end of the 1960's and beginning of the 1970's (e.g., **Pohtila** 1972a). Results of the effects of soil treatment on the environment of seedlings were obtained somewhat later (**Lähde** 1971, **Mälkönen** 1972, **Leikola** 1974, **Kauppila** and **Lähde** 1975, **Lähde** and **Pohjola** 1975, **Pohtila** 1974a, 1975).

In addition to soil treatment, attempts have been made to improve the environment of seedlings by fertilization. Fertilization in conjunction with reforestation is commonly carried out only on peatlands (e.g., **Heikurainen** et al 1966, **Paavi-**

lainen 1966b, Meshechok 1967), but a few experiments have also been made on mineral soil. Rapidly soluble nutrients have usually increased seedling mortality. The effect of sparingly soluble phosphorus fertilizers has usually been negligible or slightly positive (Viro 1965, Pohtila 1972b, Mälkönen 1972, Leikola and Rikala 1974). The effect of liming has usually been slow; but since it affects nutrient mobilization, liming may subsequently produce a marked increase in seedling growth (Viro 1963, 1967).

During planting the root system is usually damaged and deformed (Wibeck 1923, Heikinheimo 1941, Schultz 1972, Lähde and Siltanen 1973, Lähde and Mutka 1974b). Attempts to prevent root damage resulting from planting have been made by using balled seedlings, but even the use of such planting stock has its associated risks (Valtanen 1972b, Bergman and Häggström 1973, Lähde and Kinnunen 1974). How the seedlings recover from root damage depends on the tree species and the soil properties. Pine is not capable of forming adventitious roots (Laitakari 1927), and thus the root system recovers slowly. Recovery is faster in soil with favourable physical properties (Björkman 1953, 1961, Heinsdorf and Schultzke 1969, Sutton 1969, Lähde and Mutka 1974b).

Studies concerning the effect of soil treatment and fertilization on soil properties and subsequently on seedling development are still rather incomplete for the difficult reforestation conditions prevalent in North Finland. The object of this study was to investigate the effects of: 1) scalping, ploughing, and complete tilling (ploughing crosswise with a disc plough) on the physical properties of the soil, 2) liming and phosphate fertilization carried out in conjunction with these soil treatments, on the initial development of bare-rooted seedlings in North Finland.

2. MATERIALS AND METHODS

21. Experimental area and design

The experimental area is located about 50 km to the east of Rovaniemi along the Kemi River, on a southern slope in the Kivalo Experimental Forest (N 66°17′, E 26°40′, elev. 290—300 m) of the Finnish Forest Research Institute. The area was clear cut in the winter of 1969—70. The site type was *Hylocomium-Myrtillus*, and the soil was stony glacial till with fine sand. The particle size distribution and stoniness (Table 1) were fairly uniform throughout the experimental area. The differences in

Table 1. General information about the experimental area.
Taulukko 1. Yleistietoja koekentästä.

Soil property *Maan ominaisuus*	Replication — *Koelohko*							Comparison plot *Vertailuala*
	1	2	3	4	5	6	$\bar{x}$	
Thickness of humus layer, cm — *Humuksen paksuus, cm*	13,0±4,0	5,6±1,5	5,2±2,5	8,4±1,9	5,2±1,9	4,6±1,5	7,0	3,5±1,0
Thickness of A-horizon, cm — *A-horisontin paksuus, cm* ..	29,6±2,6	13,3±3,4	15,4±5,5	25,3±6,3	11,2±1,9	14,4±2,2	18,3	9,7±2,7
Thickness of B-horizon, cm — *B-horisontin paksuus, cm* ..	27,0±3,6	28,4±3,3	23,5±6,7	26,5±4,4	19,6±3,8	21,2±4,3	24,4	21,2±2,7
Stoniness, mean penetration, cm — *Kivisyys, keskim. pain., cm*	11,8±0,9	14,7±4,1	17,1±2,5	16,1±3,3	15,9±4,5	13,6±2,0	14,7	>30,0
Gradient of the slope, % — *Rinteen kaltevuus, %*	11,0±1,8	4,7±3,0	3,0±3,0	11,7±1,3	12,0±1,8	14,3±0,7	9,5	0,0±0,0
Particle size distribution — *Lajitekoostumus*	% by weight, 0—10 cm depth — *paino-%, 0—10 cm syvyys*							
Particle size, mm *Raekoko, mm* >2,0	3,1±1,2	7,1±3,2	4,7±1,1	3,4±1,0	5,0±2,4	4,7±2,1	4,7	1,0±0,6
2,0—0,6	9,6±3,7	12,0±2,6	11,9±1,3	7,6±2,3	14,2±5,1	9,4±2,8	10,7	79,5±8,3
0,6—0,2	28,7±7,6	25,3±3,5	29,3±4,4	23,5±3,0	26,6±3,9	21,5±5,9	25,8	15,0±7,5
0,2—0,06	35,2±5,8	32,0±3,8	29,6±2,9	32,6±3,6	28,3±4,2	30,6±3,5	31,4	4,5±2,5
0,06—0,02 ..	15,6±6,9	14,5±2,0	13,5±1,8	19,8±3,6	13,5±3,6	20,1±7,7	16,2	—
0,02—0,006 .	5,8±1,8	6,4±1,7	5,8±2,0	8,9±1,4	9,1±4,0	8,1±0,8	7,4	—
0,006—0,002.	1,9±0,3	1,8±0,4	2,5±1,0	2,6±0,8	1,9±0,3	3,1±0,9	2,1	—
<0,002	1,1±0,4	0,9±0,8	2,7±1,2	1,6±1,2	1,4±0,5	2,5±1,3	1,7	—

particle size distribution of the soil were small. Spruce typically is dominant on this type of soil (cf. **Heikinheimo** 1920, **Lähde** 1974b, **Lähde** and **Mutka** 1974b).

The experiment was a split-plot design with two parallel parts. Replications 1 and 4 were adjacent (end to end lengthwise) on a uniform slope. The gradient of the slope and the thickness of the humus and soil horizons varied somewhat among the replications (Table 1). Replications 2 and 3 were on a level shelf of ground, and 5 and 6 were on a slope. The thickness of the humus and mineral soil horizons were greatest on replications 1 and 4, indicating that water flowed through these making them somewhat swampy. The B-horizon was thick and dark in colour due to eluviated humus. On these replications a hard ortstein had also been formed.

Since previously undefined seedling characteristics were measured in this study, comparative measurements were also made on saplings which regenerated naturally. These are called volunteers in this paper. For this purpose an experimental plot was chosen from the nearest natural sapling stand, located about 6 km to the north of the main experimental area. It was a level *Empetrum-Myrtillus* upland; and the soil was sand (Table 1).

In order to determine what type of tree and ground cover had been growing on the experimental area prior to clear cutting, a 370 m plot-transect was made through the adjacent forest, which corresponded to that which formerly grew on the experimental area. On this transect 12 relascope plots and 37 square ground-cover-analysis plots (0,5 m^2) were studied. The data, considered as corresponding to those for the former forest, were: age, 180 years; dominant height, 12 m; basal area, 11 m^2; volume, 74 m^3.

Of the trees 90 % were spruce and 10 % were birch. The average coverage (per cent) of the most frequent plant species was:

Understorey:	*Juniperus communis* L.	1,4
Field layer:	*Vaccinium myrtillus* L.	37,2
	Vaccinium vitis idaea L.	6,2
	Empetrum coll. L.	5,1
	Deschampsia flexuosa (L.)	4,1
	Cornus suecica L.	4,0
	Melampyrum silvaticum L.	3,5
	Solidago virgaurea L.	3,1
	Maianthemum bifolium (L.)	1,4
	Lycopodium annotinum L.	0,9
	Vaccinium uliginosum L.	0,8
	Trientalis europaea L.	0,4
	Geranium silvaticum L.	0,3
	Rubus saxatilis L.	0,1
	Linnaea borealis L.	0,1
Ground layer:	*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.	20,3
	Hylocomium proliferum (Hedw.) B.S.G.	7,2
	Dicranum maius Turn.	4,9
	Dicranum undulatum Sw.	1,4
	Polytrichum commune Hedw.	0,7
	Ptilium crista castrensis (Hedw.) De Not.	0,5
	Cladonia rangiferina (L.) Wigg.	0,1

The overstorey and the ground cover species corresponded well with previous descriptions of thick-humus spruce stands (cf. e.g., **Cajander** 1916, **Heikinheimo** 1920, **Sirén** 1955).

In the experimental design each replication was divided into 6 plots (20 × 45 m) for different soil treatments. Location of the individual plots was randomized separately for each replication. Soil treatment was carried out in the spring of 1970. The patches (50 × 50 cm) were made with a hoe. Ploughing was done with a Marttiini KLM-240 shoulder plough pulled by a Caterpillar D-7. Complete tilling was done with an Ylö-disc plough pulled by a Fordson tractor crosswise over the plot so that the furrows were as close as possible. Ploughing was done so that the furrows were 4 m apart and parallel to the main slope. In this study the terms tilt and shoulder are defined as in **Kauppila** and **Lähde** (1975), and scalping is defined as scarifying in that study.

Other types of soil treatment were also made on the area, but for this report only scalping, complete tilling, and the shoulder and tilt microprofiles formed by ploughing were investigated. Average height of the tilt (measured from the surface of the mineral soil) was 25,3±1,7 cm, and average width 83,5±15,6 cm. The tilt consisted of a 6,9±1,7 cm thick layer of mineral soil lying on top of a 18,4±4,5 cm layer of humus and ground vegetation. The corresponding dimensions of the mounds formed in complete tilling were: height 13,4±7,4 cm, width 72,0±20,7 cm, thickness of mineral soil layer 1,9±1,7 cm, and thickness of the combined humus and compressed ground vegetation layer 11,8±4,9 cm. These measurements were made 3 years after the different soil treatments had been carried out.

After the soil treatments had been completed, the plots were divided into three 15 × 20 m subplots. The first subplot (replications 1—3) was limed ($CaCO_3$), and the second subplot (replications 4—6) fertilized with basic slag (7 % soluble phosphorus, 36 % Ca, 1—3 % Mg, 2—4 % Mn, 20—70 ppm B and 10—60 ppm Cu). Three levels of fertilization were used: 1 = unfertilized, 2 = $CaCO_3$ 2 000 kg/ha or basic slag 1 500 kg/ha, and 3 = $CaCO_3$ 4 000 kg/ha or basic slag 3 000 kg/ha. The fertilized subplots were randomized separately for each soil treatment plot. Liming and fertilization were done from July 1—16, 1970 on the 0,5 m wide strips where the transplants were to be planted.

The bare-rooted pine transplants (1M+1A) [1]) were planted using a semi-circular planting hoe on June 2—7, 1971. The seed was from a bulk lot collected in the vicinity of Rovaniemi and had a germination rate of 65 %. The collection site was probably at an altitude 100—200 m lower than that of the experimental area. On the ploughed area the transplants were planted both on the shoulder and on the tilt. On the completely tilled area the transplants were planted both on the mounds and in the depressions. On the scalped area the transplants were planted in the center of the patches.

An average of 32 transplants were planted on each subplot of the scalped plot, and an average of 73 transplants were planted on the completely tilled and ploughed plots.

22. Determination of soil properties

The soil (depth 5 cm) and air (0,65 m above ground) temperatures and precipitation on the experimental area were obtained from **Leikola**'s (1974) study which had been carried out in the same area (Table 2, Figure 1). The measurements were made by means of a potentiometer equipped with copper-constantan sensors. The number of degree days was calculated according to the d.h./24 hour method; i.e., the temperature was recorded at 2-hour intervals, reduced by the 5°C threshold value and averaged for the 24-hour period (see **Leikola** 1974). Measurements were begun on August 1 in 1970, on May 10 in 1971, on May 15 in 1972, and on May 28 in 1973. They were continued each year throughout the period when no soil frost was present.

For the determination of various soil properties, 5 points were marked on each soil-treatment plot (20 × 45 m). The points were at the intercept of the plot diagonals and at the mid-points between

[1]) Seedlings were raised during the first growing season in a plastic greenhouse, transplanted and raised for the second growing season on open nursery land. This planting stock is referred to as transplants.

Table 2. Number of degree days (d.h./24) in 1971—1973 at 5 cm depth in soil treated by various methods, compared to number of degree days in the air 0,65 m above ground (L e i k o l a 1974).
Taulukko 2. Maan lämpösumma (d.h./24) eri tavoin käsitellyssä maassa 5 cm:n syvyydessä v. 1971—73. Vertailuna termografilla mitattu ilman lämpösumma 0,65 m:n korkeudesta (L e i k o l a 1974).

Location — *Paikka*	1971	1972	1973
Patch — *Laikku*	778	1 110	945
Complete tilling, between mounds — *Täysmuokkaus, mättään väli*	638	1 103	944
Complete tilling, mound — *Täysmuokkaus, mätäs*	935	1 220	1 031
Ploughing, shoulder, mean value — *Auraus, piennar, keskimäärin*	886	1 133	1 103
Ploughing, tilt, mean value — *Auraus, palle, keskimäärin*	1 028	1 245	1 042
Air, 0,65 m — *Ilma, 0,65 m*	772	1 012	895

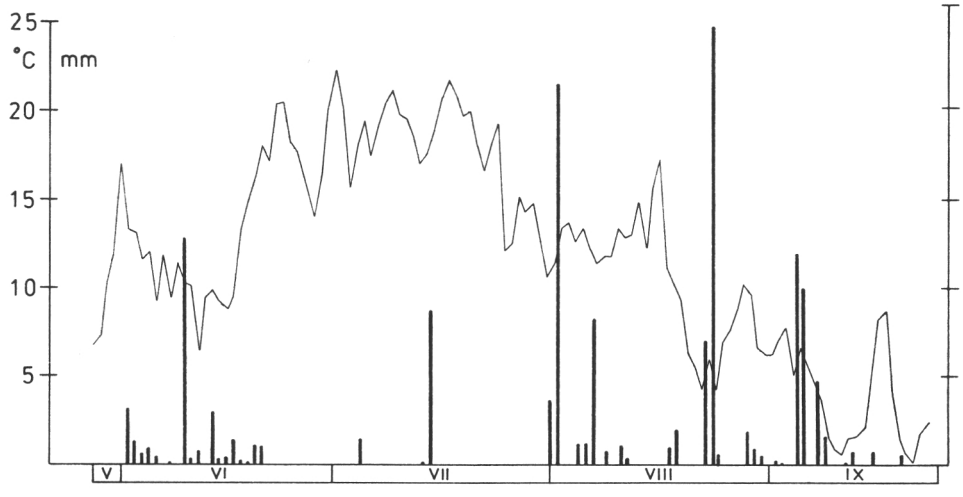


Fig. 1. Daily mean temperature (°C) and amount of precipitation (mm) on the experimental area in the summer of 1973.
Kuva 1. Ilman vuorokautinen keskilämpötila (°C) ja sateen määrä (mm) koealueella kesällä 1973.

the intercept and the 4 corners of the plot. The following properties were either measured at these points or determined from the soil samples: particle size distribution (in the 0—10 cm layer), thickness of the humus and A- and B-mineral soil horizons, stoniness and gradient of the slope (Table 1). The particle size distribution was determined by sieving and by the sedimentation method developed by **E l o n e n** (1971). Stoniness was measured using the probe method developed by **V i r o** (1952). In addition, the density, humus content, water content, and water and air permeability of the soil were determined. On the ploughed strip measurements were made both on the shoulder and tilt.

The height and width of the ploughed tilt or the mound made in complete tilling were measured at the site of each sampled transplant. Thickness of the mineral-soil layer and of the humus layer covered by the mineral soil was also measured. The surface of the undisturbed mineral soil was taken as the reference point.

The density and water content of the soil were determined on June 13, 1973 with a water volumeter (Soiltest Chicago CN 980 C). According to **L e h t i n e n** (1967), the error for volume determination is ± 3 %, which corresponds to $\pm 0{,}05$—$0{,}07$ g/cm^3. The soil porosity (%) was calculated from the density using the equation (**W i l d e** et al 1964):

$$\frac{(\text{specific gravity} - \text{density}) \times 100}{\text{specific gravity}}$$

The average specific gravity of mineral soil in Finland is 2,65 g/cm³ (**Aaltonen** 1940). The error due to the humus content was corrected by calculations based on the amount of humus present. The average specific gravity of the humus was taken to be 1,4 g/cm³ (**Aaltonen** 1940).

Soil water content (% of soil volume) was calculated on the basis of weight loss of the dried water-volumeter samples. Air volume was obtained by subtracting water volume from porosity. The soil water content (% of soil weight) was measured with a carbidemeter (Speedy), which operates by letting carbide react with the water in the soil thus generating acetylene

$$CaC_2 + H_2O \rightarrow C_2H_2 \uparrow + CaO$$

The pressure of the generated gas is directly proportional to the soil water content when the weight of soil is known. These measurements were made during the period June 11—September 10 in 1973.

In order to measure air volume, the water content, as measured by the carbidemeter, was converted into percent based on volume. This conversion was made with the results of the determinations carried out at the same sampling points using the volumetric method.

Water permeability of the soil was measured by the cylinder method (**Wilde** et al 1964), and air permeability was measured with an apparatus developed from a blood-pressure gauge (**Wilde** 1958, **Wilde** et al 1964). Water permeability was measured on July 17 and between August 28—September 4; and air permeability was measured on June 6, July 12 and 20, August 9 and 22, and September 11 in 1973.

The following soil characteristics were determined from samples taken from the control plots: particle size distribution, dry density, stoniness, and thickness of the soil horizons.

23. Transplant characteristics

Survival rate of the transplants was recorded in the fall of 1973. Due to the experimental design, survival rates of transplants growing on the tilt and shoulder were not recorded separately and will be presented together. From each 20 × 15 m subplot 8 transplants were selected randomly in August 1973 for laboratory measurements. In the case of the ploughed plots the transplants were taken from both the tilt and the shoulder. The sampling was done by picking co-ordinates at random (x-axis = longer side of plot, y-axis = shorter side of plot). The living transplant located closest to a sample co-ordinate was collected. Thus, there were 24 transplants collected for each of the combinations: soil treatment-liming and soil treatment-phosphate fertilization, making a total of 576 transplants. In addition, 48 volunteers were collected from the comparison sapling stand where the sampling was done systematically at evenly spaced intervals along a line-transect.

The sampled transplants or volunteers were dug out from the soil with the roots intact. After lifting, the roots were washed in a tub. In the laboratory the following characteristics were measured:

— Condition class as used by **Yli-Vakkuri** et al (1968).

The classes were:

1. Very poor, survival unlikely
2. Poor, survival likely
3. Intermediate growth, nearly satisfactory development, further development likely
4. Normal growth and further normal development expected
5. Good, developed better than average and expected to continue rapid development
6. Developed well and rapidly, further development expected to continue equally well

— Shoot height from root collar to apex of terminal bud, accuracy 0,5 cm

— Length of the 1973 shoot, accuracy 0,5 cm

— Needle length, accuracy 1 mm, measured as the average of two opposite needles 1 cm below the terminal bud

— Needle mass, i.e. needle dry weight

— Content of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium in needle samples taken from the most recent annual shoot of the seedling

— Dry weight of above-ground parts

— Number of apical buds on terminal leader

— Damage to the shoots according to the following classification:

1. Undamaged transplant
2. Damage due to insects
3. Snow damage; compressed or broken by snow
4. Damage to the top including damage to terminal leader and terminal bud, and leader replacement. Usually it was impossible to determine the causal agent.
5. Damage due to several agents on the same transplant; e.g., damage to the top as well as insect or snow damage.

— Diameter of root collar, accuracy 0,1 mm, measured as the mean of two perpendicular diameters taken 1 cm above the uppermost root

— Stem diameter 5 cm above the root collar, accuracy 0,1 mm; taken in order to record possible abnormal swellings on the stem

— Stem taper was measured as the ratio of the diameter at 5 cm height and root collar diameter

— Number of adventitious buds on the stem. These buds are here called basal buds and were defined as unflushed buds and buds flushed, at the earliest, during the previous year.

— Dry weight of root system

— Depth of the central root system, accuracy 0,5 cm, measured from the apex of the deepest root

— Shoot-root ratio, i.e. the ratio between dry weight of the above-ground parts and that of the root system

— Root system density (mg/cm^3) was measured as follows:

The volume occupied by the root system was calculated as that of a cone with a height equal to the depth of the apex of the deepest root and a radius at the base equal to the mean of the length of the 4 opposite lateral roots. Density was obtained by dividing dry weight of the root system by this volume.

— Shape of root system was classified visually (Figure 2):

1. Developed normally
2. Tangled
3. System tangled and asymmetrical
4. System compressed and asymmetrical
5. System compressed, asymmetrical and tangled

— Development of main root was classified:

1. Developed normally
2. Deformed
3. No main root
4. Main root re-developed. Such cases were recorded when a main root had started to develop from a root originally in another position in the soil.

— Number of mycorrhizae was classified (cf. **Lähde** and **Oksanen** 1969) (Figure 2):

1. Very few mycorrhizae
2. Few mycorrhizae
3. Medium number of mycorrhizae
4. Many mycorrhizae

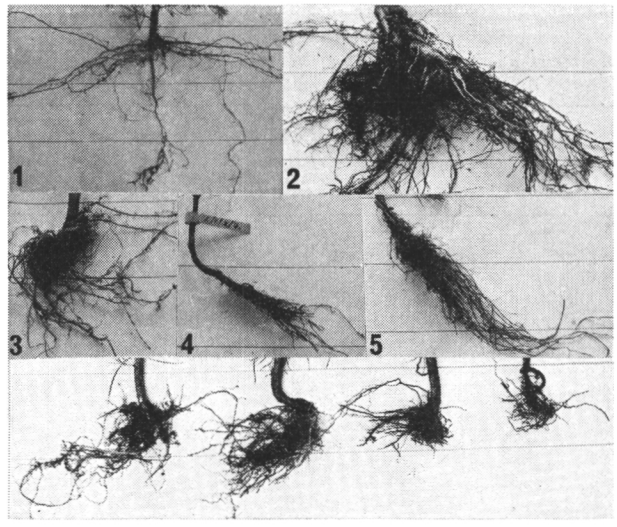


Fig. 2. Model transplants used as references for classification of the root system and number of mycorrhizae. Classification: 1 = normally developed root system (volunteer), 2 = tangled, 3 = tangled and asymmetrical, 4 = compressed and asymmetrical, and 5 = compressed, asymmetrical and tangled; Lower row: number of mycorrhizae increases from left to right.

Kuva 2. Taimien juuriston ja sen mykoritsaisuuden luokituksessa käytetyt mallitaimet. Luokitus: 1 = juuristo normaalisti kehittynyt (luonnontaimi), 2 = sykkyräinen, 3 = sykkyräinen ja toispuolinen, 4 = litistynyt ja toispuolinen sekä 5 = litistynyt, toispuolinen ja sykkyräinen; alarivi: mykoritsaisuus pienenee vasemmalta oikealle.

24. Weather conditions during the experiment

The experiment was conducted during a period when weather conditions were warmer and drier than normal. At Lapland Experiment Station of the Agricultural Research Center (elev. 103 m), located to the northeast of Rovaniemi and about 40 km northwest of the experimental area, the number of degree days for the pertinent years were:

d.d. 2 m above ground				
1970	1971	1972	1973	Average 1931—60
1 039,8	830,1	1 064,5	951,3	873,0

The summer of 1970, when the transplants were raised on open ground in the nursery, was the 6th warmest summer recorded this century. The first growing season in the field was somewhat cooler than the 30-year average. In contrast, the summers of 1972 and 1973 were much warmer than average. The summer of 1972 was the 4th warmest recorded for North Finland this century.

June 1971, when the transplants were planted out in the field, was about as warm as the 30-year average (Table 3). The amount of precipitation, however, was very low. The late summer was somewhat cooler than average but had normal precipitation. The winter of 1971—72 had nearly normal temperatures and amount of snowfall. During the late winter, the amount of precipitation was somewhat less than normal.

After a cool May, the growing season of 1972 was very warm up until September. In June the precipitation was higher and in July—August somewhat lower than normal. The warm summer was

Table 3. Air temperature and precipitation recorded at the Lapland Experiment Station of the Agricultural Research Center in 1971—1973.

Taulukko 3. Ilman lämpötila ja sateen määrä Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin koeasemalla (Rovaniemen mlk) vuosina 1971—1973.

Month — *Kuukausi*	Temperature — °C — *Lämpötila*				Precipitation — mm — *Sademäärä*			
	1931—1960	1971	1972	1973	1931—1960	1971	1972	1973
Jan. — *Tammi*	—13,0	—11,4	—11,6	— 7,9	32	40	16	46
Feb. — *Helmi*	—12,2	—13,6	—11,6	—10,8	27	39	23	30
March — *Maalis*	— 8,2	—13,8	— 6,8	— 6,3	17	15	9	31
April — *Huhti*	— 1,3	— 3,5	— 0,6	— 0,4	30	26	33	38
May — *Touko*	5,7	4,5	4,6	5,4	33	29	30	41
June — *Kesä*	12,0	12,4	14,7	13,7	55	8	62	35
July — *Heinä*	15,1	14,2	17,9	18,5	67	68	53	58
August — *Elo*	13,0	12,5	13,2	11,6	74	35	63	53
Sept. — *Syys*	7,3	5,4	7,0	3,9	54	54	56	41
Oct. — *Loka*	0,8	— 0,9	0,3	— 4,2	48	48	41	24
Nov. — *Marras*	— 4,6	—11,1	— 7,1	— 9,9	40	45	51	22
Dec. — *Joulu*	— 9,0	— 9,5	— 2,7	—17,1	35	28	50	33
Total — *Yhteensä*					513	435	487	452

followed by a mild winter with much snow. The spring of 1973 was as warm as the previous one, but in August the weather became cool very rapidly (Figure 1). There was very little precipitation throughout the summer.

25. Data processing

When carrying out calculations on the data for the physical properties of the soil, the whole soil-treatment plot was taken as a single unit, since it was assumed that liming or phosphate fertilization did not affect these properties. Thus the calculations included six replications. When calculating the effects of liming and soil treatment or phosphate fertilization and soil treatment, the data were treated according to split-plot design.

Measurements carried out on transplants growing on tilts and shoulders were made on the same plots, and therefore these measurements were not regarded as comparable in the analysis of variance. Consequently, in data analysis the results from the shoulders and the tilts were compared to other soil treatments separately. This exception hardly affects the interpretation of the results. *Arc. sin.* transformation was used when testing proportions and percentages, and square root transformations were used when testing counts. In ambiguous cases the analyses were performed with both transformed and non-transformed observations. The F-values usually indicated that transformations were not necessary.

The assumptions underlying the analysis of variance could not always be checked, but small deviations from the assumptions, e.g., from that of normally distributed data, are not very significant. The values for statistical significance were taken from tables of **Lindley** and **Miller** (1962).

The means and standard deviations ($\bar{x} \pm s$) are given in the tables. HSD stands for »Honestly significant difference» at the 5 % level of probability.

The heterogeneity of the distribution of the condition classes of the seedlings and their number of mycorrhizae were tested by χ^2 tests. The tests were carried out to determine differences between main treatments, i.e., soil treatments and effects of fertilization, since the analysis of variance did not usually indicate significant interactions. When testing condition classes, they were combined into pairs so as to reduce the number of classes to three.

3. RESULTS

31. Physical properties of the soil

Soil structure and temperature

The soil in the ploughed shoulder had the highest density and the lowest porosity and humus content (Table 4). The difference between the above values and those for scalping and complete tilling were nearly significant. The ploughed tilt was the most porous and had the highest air volume and humus content. The difference between the above values and those for scalping and complete tilling were nearly significant. The density of the completely tilled soil was found to vary considerably depending on the point of sampling. On the mounds the density was low, and between mounds it was high. The humus content of the 0—10 cm thick surface layer of the mineral soil only was determined, and therefore the data do not represent the total humus layer treated in the tilt and completely tilled soil.

The ploughed tilt was the warmest substrate during all the years measured (Table 2). The shoulder was on an average 100 d.h./24 colder than the tilt. The completely tilled mound was nearly as warm as the tilt, but the depressions between mounds were colder than the ploughed shoulders. This difference may be due to excess water on the ploughed areas being led away along the furrows, while on the tilled areas water accumulates between the mounds. The coldest growing site was in the patches. The average difference between the patch and the tilt was 160 d.h./24. In all soil treatments more degree hours were accumalated in the soil than in the air 0,65 m above ground, since the soil retains more heat radiation than the air.

Soil water content and porosity

Water content measurements of the soil with the carbidemeter were started on June 11, shortly after the snow had melted. At this time the soil still contained much water, especially in the shoulders and patches (Table 5). The lowest water content was found in the tilt where the snow had melted earlier than on other microreliefs. During the dry and warm period in early summer (cf. Table 3 and Figure 1), the soil in the

Table 4. Effect of soil treatment on dry bulk density (g/cm³), porosity (%), and humus content (% of dry weight) for 0—10 cm depth. In the analysis of variance (ANOVA), A = compared to shoulder, B = compared to tilt (D.F. = 2/15), HSD see p. 14 ($P < 0,05$).

Taulukko 4. Maan käsittelyn vaikutus maan kuivatilavuuspainoon (g/cm³), huokostilaan (%) ja humuspitoisuuteen (% kuivapainosta) 0—10 cm:n syvyydessä. Varianssianalyysissä A = piennar ja B = palle vertailukohteena (vapausasteet = 2/15), HSD = pienin merkitsevä ero 5 % riskitasolla.

Soil property *Maan ominaisuus*	Soil treatment — *Maan käsittely*						Analysis of variance — *Varianssianalyysi*			
							A		B	
	1. Scalping *1. Laikutus*	2. Complete tilling *2. Täysmuokkaus*	3. Ploughing, shoulder *3. Auraus, piennar*	$\bar{x}$ 1—3	4. Ploughing, tilt *4. Auraus, palle*	$\bar{x}$ 1, 2, 4	F-value *F-arvo*	HSD	F-value *F-arvo*	HSD
Dry bulk density — *Kuivatilavuuspaino* .	1,29±0,16	1,27±0,14	1,47±0,04	1,34	1,03±0,16	1,20	4,55*	0,19	5,18*	0,23
Porosity — *Huokostila*	50,7±6,1	51,5±5,4	43,9±2,0	48,7	60,6±5,9	54,3	4,38*	7,3	5,20*	8,8
Humus content — *Humuspitoisuus* ...	1,87±0,59	2,54±0,79	1,78±0,79	2,06	3,06±0,97	2,49	2,54	0,96	3,45	1,17

tilts dried out rapidly, but in the patches and shoulders it dried slowly. In the tilt the water volume remained below 10 % soil volume for a long time, and on July 9 it was at its lowest, 2,6 % of volume. Even during dry periods the shoulder remained rather moist. Water volume never fell below 13 % of soil volume during the summer. In the patches and the completely tilled soil the water content reached a minimum of 9—10 % of soil volume.

During the rainy period in August the water volume of the soil increased. The tilt still remained the driest substrate and the shoulder the wettest. The difference between the patches and the shoulders was not very great, only about one percent unit. In September the differences between different microreliefs became smaller; the water volume in the tilt increased to 20 % of soil volume.

The volume of air in the patches and completely tilled soil never fell below 25 % of the soil volume during the summer (Figure 3). At its maximum it was about 40 % of the soil volume. In the shoulders it was occasionally 10 % of soil volume in June, and not even during the driest periods did it rise above 20 %. The soil in the shoulder was very dense (cf. Table 4), and therefore the porosity was low. During the rainy period in the fall the air volume in the soil dropped below 10 % of the soil volume. In the tilt where the porosity was highest and the water volume smallest, the air volume remained above 40 % throughout the whole growing season. During the driest

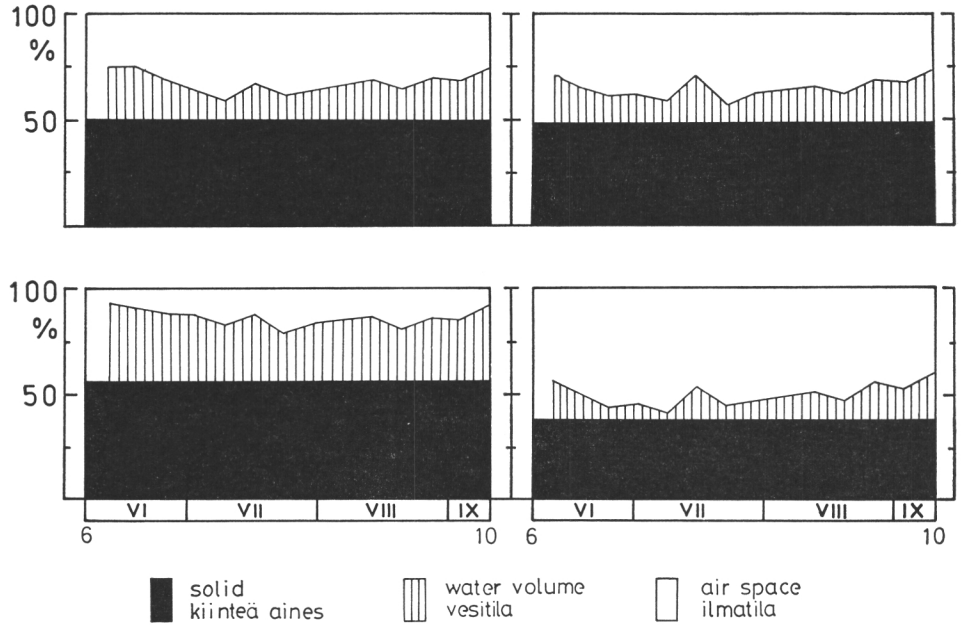


Fig. 3. Fluctuation in air- and water-content during the growing season in 1973 at 0—10 cm depth in soils subjected to various treatments. Legend: 1 = Scalping; 2 = Complete tilling; 3 = Ploughing, shoulder; 4 = Ploughing, tilt.

Kuva 3. Ilma- ja vesitilan vaihtelu 0—10 cm:n syvyydessä kasvukauden 1973 aikana eri tavoin käsitellyssä maassa. Selitys: 1 = Laikutus, 2 = Täysmuokkaus, 3 = Auraus, piennar ja 4 = Auraus, palle.

Table 5. Effect of soil treatment on water content of soil (% of volume) at 5 cm depth during the growing season in 1973. In the ANOVA, A = compared to shoulder, B = compared to tilt (D.F. = 2/15).

Taulukko 5. Maan käsittelyn vaikutus maan kosteuteen (tilavuus-%) 5 cm:n syvyydessä kasvukauden 1973 aikana. Varianssianalyysissä A = piennar ja B = palle vertailukohteena (vapausasteet = 2/15).

Measuring date *Mittauspäivä*	Soil treatment — *Maan käsittely*						Analysis of variance — *Varianssianalyysi*			
							A		B	
	1. Scalping *1. Laikutus*	2. Complete tilling *2. Täysmuokkaus*	3. Ploughing, shoulder *3. Auraus, piennar*	$\bar{x}$ 1—3	4. Ploughing, tilt *4. Auraus, palle*	$\bar{x}$ 1, 2, 4	F-value *F-arvo*	HSD	F-value *F-arvo*	HSD
06. 11.	26,3 ± 2,7	24,6 ± 4,7	27,6 ± 4,7	26,2	17,7 ± 4,4	22,9	0,820	6,2	7,940**	5,9
06. 18.	26,1 ± 5,4	17,5 ± 7,6	25,5 ± 8,6	23,0	10,8 ± 4,5	18,1	2,590	11,0	9,710**	9,1
06. 25.	19,3 ± 5,4	12,5 ± 9,3	21,6 ± 15,6	17,8	4,5 ± 2,7	12,1	1,110	16,5	8,120**	9,6
07. 02.	14,6 ± 3,2	14,1 ± 7,4	22,1 ± 10,3	16,9	7,3 ± 6,4	12,0	2,130	11,2	4,190*	7,3
07. 09.	10,2 ± 3,9	10,9 ± 6,1	16,6 ± 8,6	12,6	2,6 ± 0,7	7,9	1,710	9,8	6,800**	6,4
07. 16.	18,2 ± 3,7	23,5 ± 3,7	21,8 ± 6,6	21,2	15,4 ± 2,9	19,0	1,830	7,3	8,600**	5,2
07. 23.	12,1 ± 3,4	9,4 ± 4,5	13,2 ± 4,4	11,7	5,9 ± 1,7	9,1	1,230	6,5	4,620*	5,4
07. 30.	15,0 ± 3,9	14,5 ± 2,2	17,5 ± 5,4	15,7	9,4 ± 2,2	13,0	0,960	6,0	7,210**	4,2
08. 13.	20,4 ± 2,4	17,3 ± 3,4	20,2 ± 1,4	19,3	12,7 ± 2,9	16,8	1,860	4,7	10,320**	4,4
08. 20.	14,7 ± 2,0	14,4 ± 2,5	16,4 ± 2,9	15,2	8,4 ± 1,7	12,5	0,980	3,8	16,740**	3,2
08. 27.	21,0 ± 1,7	21,0 ± 2,9	22,1 ± 0,2	21,4	16,7 ± 3,4	19,6	0,520	3,3	4,830**	4,1
09. 03.	18,6 ± 3,4	15,8 ± 1,2	19,5 ± 3,2	18,0	13,5 ± 2,0	16,0	2,750	4,2	6,590**	3,6
09. 10.	25,1 ± 3,9	25,6 ± 2,7	25,0 ± 2,2	25,2	21,2 ± 3,2	24,0	0,080	4,5	10,320**	4,4
$\bar{x}$	18,6	17,0	20,7	18,8	11,2	15,6				

Table 6. Effect of soil treatment on permeability of soil to water and to air (cm. min) for 0—10 cm depth during the growing season in 1973. In the ANOVA, A = compared to shoulder, B = compared to tilt (D.F. = 2/15).

Taulukko 6. Maan käsittelyn vaikutus maan veden- ja ilmanläpäisevyyteen (senttimin.) 0—10 cm:n syvyydessä kasvukauden 1973 aikana. Varianssianalyysissä A = piennar ja B = palle vertailukohteena (vapausasteet = 2/15).

Measuring date *Mittauspäivä*	Soil treatment — *Maan käsittely*						Analysis of variance — *Varianssianalyysi*			
							A		B	
	1. Scalping *1. Laikutus*	2. Complete tilling *2. Täysmuokkaus*	3. Ploughing, shoulder *3 .Auraus, piennar*	$\bar{x}$ 1—3	4. Ploughing, tilt *4. Auraus, palle*	$\bar{x}$ 1, 2, 4	F-value *F-arvo*	HSD	F-value *F-arvo*	HSD
	Permeability to water — *Vedenläpäisevyys*									
07. 17.	21,53± 4,95	15,77±6,00	19,45± 5,94	18,92	3,88±2,25	13,71	1,70	8,23	22,40***	7,00
08. 28.	27,34±13,18	16,89±8,94	35,80±25,11	26,68	4,98±3,43	16,40	1,84	25,63	8,67**	13,95
$\bar{x}$	24,44	16,33	27,67	22,80	4,42	15,06				
	Permeability to air — *Ilmanläpäisevyys*									
06. 13.	71,6 ±13,7	22,8 ±8,4	58,1 ±12,9	50,8	0,0 ±0,0	31,5	4,50	43,6	15,01	34,1
07. 12.	15,0 ± 4,3	15,7 ±3,9	22,1 ± 4,1	17,6	0,2 ±0,2	10,3	0,91	15,0	6,85	12,3
07. 20.	10,9 ± 0,8	4,0 ±1,9	12,2 ± 3,4	9,0	0,3 ±0,3	5,1	3,64	8,5	20,20	4,4
08. 09.	10,4 ± 2,6	5,5 ±1,9	7,7 ± 3,3	7,9	0,1 ±0,1	5,3	0,88	9,7	7,82	6,8
08. 22.	7,7 ± 1,3	3,5 ±1,2	9,0 ± 1,9	6,7	0,3 ±0,3	3,8	3,79	5,4	13,87	3,7
09. 11.	4,7 ± 1,8	2,2 ±1,5	6,5 ± 0,7	4,5	0,0 ±0,0	2,3	2,33	5,2	2,99	5,0

period it was even above 50—60 % of soil volume. Since the summer of 1973 was exceptionally dry, the moisture data gave a somewhat abnormal description of water conditions in the soil.

Water and air permeability of the soil

Water permeability of the soil was measured twice: on July 17 and on August 28. On both dates the soil in the tilt had the highest water permeability (Table 6). On the first date the permeability was lowest in the patches, and on the second it was lowest on the shoulder. The completely tilled soil had a higher permeability on both dates compared to the patches and the shoulders. In all soil treatments the permeability was lower at the second measurement than at the first. This was due to the presence of larger amounts of water in the soil at the later date.

Air permeability of the soil was always highest on the tilt (Table 6), lowest in the patches and in the shoulders. In the completely tilled soil air permeability was higher than in the patches and shoulders but lower than in the tilt.

Air permeability increased during the summer. This may, however, be due to wear on the edges of the measuring cylinder which allowed air to escape from under the edges. The data are, however, comparable for each time.

32. Transplant development

Survival rate and condition

During three growing seasons in the field only a small proportion of the transplants had died. Both liming and fertilization with phosphate increased the mortality rate somewhat, although the differences were small. The differences between soil treatments were also small (Table 7).

Liming increased the proportion of transplants classified as good, except on the scalped plots. In contrast, phosphate fertilization appeared to increase the proportion of transplants classified as poor (Figure 4).

On all limed subplots the differences between soil treatments remained similar. The transplants on the tilts grew best; the second best were growing on the shoulder, followed by those on the completely tilled plots, and the poorest in the patches. The same general trend was observed on the phosphate-fertilized plots. With the highest level of fertilization, however, the order was somewhat different (Figure 4). The χ^2-heterogeneity test indicated, however, that the distributions of condition classes did not differ significantly between levels of liming (compared to shoulder: $\chi^2 = 4{,}31$, $V = 4$; compared to tilt: $\chi^2 = 1{,}35$, $V = 4$) and also did not differ between levels of phosphate fertilization (compared to shoulder: $\chi^2 = 1{,}27$, $V = 4$; compared to tilt: $\chi^2 = 5{,}41$, $V = 4$). In contrast, these distributions differed between soil treatments

Table 7. Effect of liming and soil treatment, and phosphate fertilization and soil treatment on survival rate of transplants (%) three years after planting.

Taulukko 7. Kalkituksen ja maankäsittelyn sekä fosforilannoituksen ja maankäsittelyn vaikutus taimien elossaolosadannekseen kolme vuotta istutuksen jälkeen.

Fertilizer kg/ha *Lannoite kg/ha*	Soil treatment — *Maan käsittely*				Analysis of variance — *Varianssianalyysi*			
	Scalping *Laikutus*	Complete tilling *Täysmuokkaus*	Ploughing *Auraus*	$\bar{x}$	Source of variance *Vaihtelun lähde*	Degrees of freedom *Vapausasteet*	F-value *F-arvo*	HSD
$CaCO_3$								
0	100,0	97,7	92,4	96,7	Replications — *Lohkot*	2/4	1,50	
2 000	96,0	95,1	90,0	93,7	Soil treatment — *Maan käsittely* .	2/4	38,00**	0,7
4 000	98,0	96,4	92,4	95,6	Fertilization — *Lannoitus*	2/16	5,75*	0,4
$\bar{x}$	98,0	96,4	91,6	95,3	Interaction — *Yhteisvaikutus* .	4/16	2,00	
Basic slag — *Tuomaskuona*								
0	93,2	95,0	95,1	94,4	Replications — *Lohkot*	2/4	4,77	
2 500	89,6	92,9	95,1	92,5	Soil treatment — *Maan käsittely* .	2/4	0,01	2,6
3 000	94,3	91,3	89,9	91,8	Fertilization — *Lannoitus*	2/16	1,27	0,6
$\bar{x}$	92,4	93,1	93,4	92,4	Interaction — *Yhteisvaikutus* .	4/16	0,65	

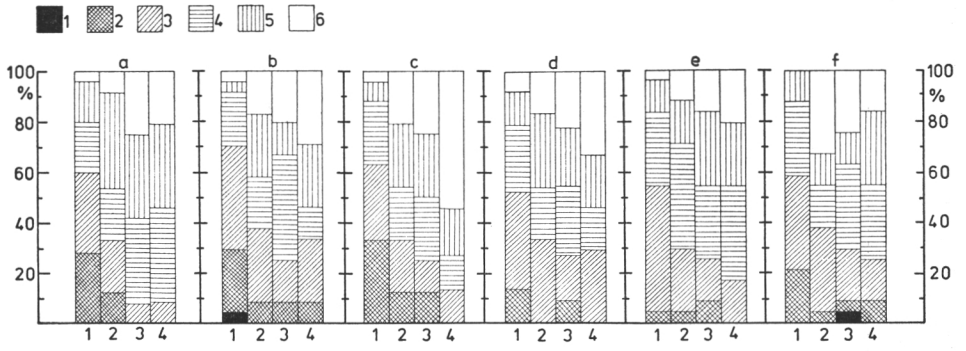


Fig. 4. Effect of liming and soil treatment (a—c) and phosphate fertilization and soil treatment (d—f) on transplant condition. Legend: a and d = unfertilized, b = 2 000 kg $CaCO_3$/ha, c = 4 000 kg $CaCO_3$/ha, e = 1 500 kg basic slag/ha and f = 3 000 kg basic slag/ha; 1 = scalping, 2 = complete tilling, 3 = shoulder, and 4 = tilt. Condition classification 1—6, see p. 11.

Kuva 4. Kalkituksen ja maan käsittelyn (a—c) sekä fosforilannoituksen ja maan käsittelyn (d—f) vaikutus taimien kuntoon. Selitys: a ja d = lannoittamaton, b = 2 000 kg $CaCO_3$/ha, c = 4 000 kg $CaCO_3$/ha, e = 1 500 kg tuomaskuonaa/ha ja f = 3 000 kg tuomaskuonaa/ha; 1 = laikutus, 2 = täysmuokkaus, 3 = piennar ja 4 = palle. Kuntoluokitus 1—6 ks. sivu 53.

Table 8. Effect of liming and soil treatment, and phosphate fertilization and soil treatment on transplant height and height growth (cm). In the ANOVA, A = compared to shoulder, B = compared to tilt.

Taulukko 8. Maan käsittelyn ja kalkituksen sekä maan käsittelyn ja fosforilannoituksen vaikutus taimien pituuteen ja pituuskasvuun (cm). Varianssianalyysissä A = piennar ja B = palle vertailukohteena.

Fertilizer kg/ha *Lannoite*	Soil treatment — *Maan käsittely*						Analysis of variance — *Varianssianalyysi*								
	1. Scalping *1. Laikutus*	2. Complete tilling *2. Täysmuokkaus*	3. Ploughing, shoulder *3. Auraus, piennar*	$\bar{x}$ 1—3	4. Ploughing, tilt *4. Auraus, palle*	$\bar{x}$ 1,2,4	Source of variance *Vaihtelun lähde*	Degrees of freedom *Vapausasteet*	Liming *Kalkitus* A F	Liming A HSD	Liming B F	Liming B HSD	Phosphate fert. *Fosforilannoitus* A F	Phosphate fert. A HSD	Phosphate fert. B F	Phosphate fert. B HSD
Height — *Pituus*															
$CaCO_3$															
0	35,5 ± 10,8	38,6 ± 4,4	39,8 ± 8,3	37,8	40,2 ± 7,3	38,1	Replications — *Lohkot*	2/4	0,11		11,53		0,03		0,14	
2 000	32,7 ± 12,7	42,2 ± 9,3	35,5 ± 12,6	37,3	42,0 ± 9,9	39,0	Soil treatment — *Maan käsittely* .	2/4	3,94	6,7	77,74	2,1	0,25	16,6	9,87	1,9
4 000	36,3 ± 5,6	39,3 ± 3,8	40,5 ± 0,0	38,7	43,8 ± 6,8	39,8	Fertilization — *Lannoitus*	2/16	0,65	2,5	0,63	2,3	0,60	4,5	0,39	3,6
$\bar{x}$	34,8	40,0	39,2	38,0	42,0	39,0	Interaction — *Yhteisvaikutus* .	4/16	1,29		1,19		0,26		0,64	
Basic slag — *Tuomaskuona*															
0	37,3 ± 1,9	38,1 ± 8,1	40,0 ± 6,9	38,5	43,8 ± 5,7	39,7									
1 500	38,7 ± 6,8	35,7 ± 27,8	41,2 ± 22,4	37,8	42,2 ± 11,7	38,9									
3 000	38,5 ± 7,8	42,7 ± 10,4	42,8 ± 19,7	41,3	41,7 ± 9,0	41,0									
$\bar{x}$	38,2	38,8	41,3	39,2	42,6	39,9									
Height growth — *Pituuskasvu*															
$CaCO_3$															
0	13,2 ± 4,4	14,5 ± 5,4	16,2 ± 4,7	14,6	17,2 ± 2,6	15,0	Replications — *Lohkot*	2/4	0,52		0,96		0,75		0,61	
2 000	10,3 ± 11,7	15,2 ± 8,3	14,8 ± 5,6	13,4	16,8 ± 0,7	14,1	Soil treatment — *Maan käsittely* .	2/4	5,73	4,1	41,52	2,3	3,24	4,7	9,48	3,4
4 000	11,7 ± 7,3	14,0 ± 3,7	15,6 ± 5,7	13,8	18,8 ± 6,3	14,8	Fertilization — *Lannoitus*	2/16	0,62	1,6	1,79	1,4	0,64	1,3	0,07	1,0
$\bar{x}$	11,7	14,6	15,5	13,9	17,6	14,6	Interaction *Yhteisvaikutus* .	4/16	0,47		0,15		0,36		1,30	
Basic slag — *Tuomaskuona*															
0	13,7 ± 1,4	16,3 ± 3,1	16,2 ± 4,0	15,4	18,8 ± 4,7	16,3									
1 500	14,5 ± 2,2	16,8 ± 1,9	16,3 ± 7,5	15,9	17,0 ± 4,5	16,1									
3 000	13,2 ± 4,7	17,7 ± 4,0	16,8 ± 8,0	15,9	17,2 ± 4,7	16,0									
$\bar{x}$	13,8	16,9	16,4	15,7	17,7	16,2									

both on the limed subplots (compared to shoulder: $\chi^2 = 30{,}41^{***}$; compared to tilt: $\chi^2 = 40{,}37^{***}$) and on the phosphate-fertilized subplot (compared to shoulder: $\chi^2 = 14{,}89^{**}$; compared to tilt: $\chi^2 = 10{,}86^{*}$).

Height and height growth

Neither liming nor phosphate fertilization affected transplant height (Table 8). Large differences in height were observed between soil treatments. Transplants on the tilt were much taller than those growing on completely tilled soil or in patches, and slightly taller than those growing on the shoulder. The results for the length of the 1973 shoot (Table 8) were also quite similar. The transplants grew best on the tilt and poorest in the patches. Transplants growing on the shoulder and on completely tilled soil were of the same height and had clearly grown better than those planted in patches.

Other shoot characteristics

Liming had not affected needle length (Table 9a). Analysis of variance for needle length showed that there was a statistically significant interaction between phosphate fertilization and soil treatment when scalping, complete tilling and tilt were combined. Therefore the experiment was divided, and the analysis of variance was carried out separately for each interacting effect. The results of this analysis indicated that fertilization had retarded needle growth on those transplants growing on completely tilled plots (Table 9b).

The needles of transplants growing in patches were clearly the shortest (Table 9a). Needle length did not differ much on transplants growing on the plots with other treatments. On the limed subplots the needles of the shoulder and tilt transplants were the longest. As regards the phosphate-fertilized subplots, the needles of the transplants growing on the completely tilled plots and on the shoulder were longest.

The results for needle dry weight were similar to those for needle length, except that for tilt transplants the needle biomass was much larger than that produced on plots with other treatments (Table 10). Liming and phosphate fertilization did not seem to have any effect on needle dry weight.

Liming and phosphate fertilization apparently did not affect the nitrogen, phosphorus, potassium, and calcium content of the needles. Soil treatment also did not affect the content of these elements in the needles during the three growing seasons (Figure 5). The general trend was for nitrogen content of the needles to be greatest on tilt transplants and least on patch transplants. The result was reversed in the case of the phosphorus content of the needles.

Neither liming nor phosphate fertilization affected root-collar diameter (Table 10). In contrast, soil treatment did have an effect on this parameter. Transplants growing in

Table 9 a. Effect of liming and soil treatment, and phosphate fertilization and soil treatment on transplant needle length (mm). In the ANOVA, A = compared to shoulder, B = compared to tilt.

Taulukko 9 a. Maan käsittelyn ja kalkituksen sekä maan käsittelyn ja fosforilannoituksen vaikutus taimien neulasten pituuteen (mm). Varianssianalyysissä A = piennar ja B = palle vertailukohteena.

Fertilizer kg/ha *Lannoite*	Soil treatment — *Maan käsittely*					
	1. Scalping *1. Laikutus*	2. Complete tilling *2. Täysmuokkaus*	3. Ploughing, shoulder *3. Auraus, piennar*	$\bar{x}$ 1—3	4. Ploughing, tilt *4. Auraus, palle*	$\bar{x}$ 1,2,4
$CaCO_3$						
0	41,3±11,2	49,7±12,3	50,7± 7,6	47,3	51,7±6,3	47,6
2 000	38,7± 8,7	46,0±10,8	45,7± 8,0	43,5	46,3±7,6	43,7
4 000	39,3± 1,4	50,7±14,6	50,7±20,2	46,9	46,3±3,8	45,4
$\bar{x}$	39,8	44,3	49,0	45,9	48,1	45,6
Basic slag — *Tuomaskuona*						
0	40,0± 6,6	47,3± 8,0	47,0± 9,9	44,8	43,3±5,2	43,5
1 500	36,7±11,2	46,7± 8,0	45,7± 9,4	43,0	37,7±8,7	40,4
3 000	36,3±10,0	39,7± 2,9	41,3±14,6	39,0	41,0±9,0	39,0
$\bar{x}$	37,7	44,6	44,7	42,3	40,7	41,0

Analysis of variance — *Varianssianalyysi*								
Source of variance *Vaihtelun lähde*	Degrees of freedom *Vapausasteet*	Liming *Kalkitus*				Phosphate fert. *Fosforilannoitus*	
		A		B		A	
		F	HSD	F	HSD	F	HSD
Replications — *Lohkot*	2/4	1,25		0,30		12,74*	
Soil treatment — *Maan käsittely* .	2/4	10,92*	8,0	16,97*	6,1	45,93**	3,0
Fertilization — *Lannoitus*	2/16	1,87	5,7	2,18	4,3	6,69**	2,4
Interaction — *Yhteisvaikutus* .	4/16	0,21		0,58		0,7	

Table 9 b. Results of analysis of variance for data in Table 9 a, phosphate fertilization compared to tilt (D.F. = 2/6).

Taulukko 9 b. Varianssianalyysin tulokset taulukolle 9 a, fosforilannoitus palle vertailukohteena, (vapausasteet = 2/6).

Between soil treatments *Maan käsittelyn välinen*		Soil treatment *Maan käsittely*	Between fertilization *Lannoituksen välinen*	
F-value *F-arvo*	HSD		F-value *F-arvo*	HSD
5,60	6,7	Scalping — *Laikutus*	0,85	9,6
6,35	9,5	Complete tilling — *Täysmuokkaus*	7,38	6,8
1,70	8,0	Ploughing — *Auraus*	2,46	7,9

patches had smaller root-collar diameters than the transplants growing on other treatment plots. The root-collar diameter was not much affected by any other treatment, but, on an average, the diameter of tilt transplants was the largest.

Liming and phosphate fertilization did not affect shoot dry weight (Table 11). Soil treatment strongly affected shoot dry weight in the same way as it did transplant height. Shoot dry weight of patch transplants was the smallest. It was about the same for transplants growing on shoulders and on completely tilled plots, but on the latter the dry weight was somewhat greater. Shoot dry weight of the tilt transplants was the greatest.

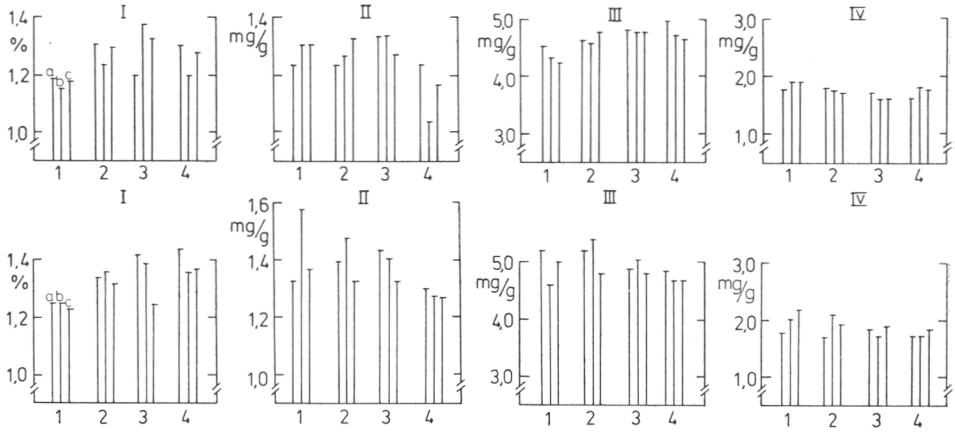


Fig. 5. The effect of liming and soil treatment (upper row), and phosphate fertilization and soil treatment (lower row) on the nitrogen (I), phosphorus (P_2O_5) (II), potassium (K_2O) (III), and calcium (CaO) (IV) content of the needles. Legend: a = unfertilized, b = 2 000 kg $CaCO_3$/ha or 1 500 kg basic slag/ha, c = 4 000 kg $CaCO_3$/ha or 3 000 kg basic slag/ha; 1 = scalping, 2 = complete tilling, 3 = shoulder, 4 = tilt.

Kuva 5. Kalkituksen ja maan käsittelyn (ylärivi) sekä fosforilannoituksen ja maan käsittelyn (alarivi) vaikutus neulasten typpi- (I), fosfori- (P_2O_5) (II), kalium- (K_2O) (III) ja kalsium- (CaO) (IV) pitoisuuteen. Selitys: a = lannoittamaton, b = 2 000 kg $CaCO_3$/ha tai 1 500 kg tuomaskuonaa/ha, c = 4 000 kg $CaCO_3$/ha tai 3 000 kg tuomaskuonaa/ha; 1 = laikutus, 2 = täysmuokkaus, 3 = piennar ja 4 = palle.

Table 10. Effect of liming and soil treatment, and phosphate fertilization and soil treatment on needle dry weight (g) and on root collar diameter (mm) of the transplants. In the ANOVA, A = compared to shoulder, B = compared to tilt.

Taulukko 10. Maan käsittelyn ja kalkituksen sekä maan käsittelyn ja fosforilannoituksen vaikutus taimien neulasmassan kuivapainoon (g) ja juurenniskan paksuuteen (mm). A = piennar ja B = palle vertailukohteena.

Fertilizer kg/ha *Lannoite*	Soil treatment — *Maan käsittely*						Analysis of variance — *Varianssianalyysi*									
	1. Scalping *1. Laikutus*	2. Complete tilling *2. Täysmuokkaus*	3. Ploughing, shoulder *3. Auraus, piennar*	$\bar{x}$ 1—3	4. Ploughing, tilt *4. Auraus, palle*	$\bar{x}$ 1,2,4	Source of variance *Vaihtelun lähde*	Degrees of freedom *Vapausasteet*	Liming *Kalkitus* A F	A HSD	Liming *Kalkitus* B F	B HSD	Phosphate fert. *Fosforilannoitus* A F	A HSD	Phosphate fert. *Fosforilannoitus* B F	B HSD
Needle dry weight — *Neulasmassan kuivapaino*																
$CaCO_3$							Replications —									
0	11,3±8,1	16,3± 4,7	18,6± 6,8	15,4	22,8±10,7	16,8	*Lohkot*	2/4	11,24*		26,72**		0,06		1,86	
2 000	7,2±8,1	17,7±24,1	14,4±13,7	13,1	22,4±17,9	15,8	Soil treatment —									
4 000	8,5±1,4	16,8± 8,0	16,7± 8,2	14,0	24,4± 6,8	16,8	*Maan käsittely* .	2/4	36,65**	3,6	144,90***	3,0	4,26	13,0	22,84**	7,4
$\bar{x}$	9,0	16,9	16,6	14,2	22,5	16,4	Fertilization —									
							Lannoitus	2/16	0,79	2,8	0,17	2,8	0,38	3,2	0,82	2,4
Basic slag — *Tuomaskuona*							Interaction —									
0	9,6±4,0	18,5±15,9	19,3± 8,2	15,8	25,0± 9,1	17,7	*Yhteisvaikutus* .	4/16	0,50		0,48		0,20		0,67	
1 500	8,9±6,9	18,6±12,7	16,8±16,6	14,8	19,6± 9,5	15,7										
3 000	7,7±2,6	19,0± 7,2	15,2±12,4	14,0	22,2± 8,4	16,3										
$\bar{x}$	8,7	18,7	17,1	14,9	22,3	16,6										
Root collar diameter — *Juurenniskan paksuus*																
$CaCO_3$							Replications —									
0	9,1±2,5	10,5± 1,5	11,1± 2,4	10,2	12,2± 1,1	10,6	*Lohkot*	2/4	0,53		5,50		0,13		2,53	
2 000	7,9±3,2	10,7± 7,0	10,1± 3,4	9,6	11,2± 5,2	9,9	Soil treatment —									
4 000	8,0±2,1	10,6± 0,6	11,1± 4,2	9,9	11,5± 1,7	10,0	*Maan käsittely* .	2/4	6,82	2,6	30,21**	1,5	4,00	3,6	24,01**	1,5
$\bar{x}$	8,3	10,6	10,8	9,9	11,6	10,2	Fertilization —									
							Lannoitus	2/16	0,48	1,0	0,69	0,9	0,13	1,0	0,36	0,6
Basic slag — *Tuomaskuona*							Interaction									
0	9,1±1,0	11,5± 3,1	11,4± 1,4	10,7	11,7± 2,7	10,8	*Yhteisvaikutus* .	4/16	0,32		0,30		0,28		0,78	
1 500	9,1±3,1	11,4± 2,7	10,6± 6,9	10,4	10,7± 1,8	10,4										
3 000	8,4±0,7	12,0± 2,2	10,6± 4,0	10,3	11,2± 2,7	10,5										
$\bar{x}$	8,7	11,6	10,9	10,5	11,2	10,6										

Table 11. Effect of liming and soil treatment, and phosphate fertilization and soil treatment on shoot and root-system dry weight (g) of the transplants. In the ANOVA, A = compared to shoulder, B = compared to tilt.

Taulukko 11. Maan käsittelyn ja kalkituksen sekä maan käsittelyn ja fosforilannoituksen vaikutus taimien verson ja juuriston kuivapainoon (g). Varianssianalyysissä A = piennar ja B = palle vertailukohteena.

Fertilizer kg/ha *Lannoite*	Soil treatment — *Maan käsittely*						Analysis of variance — *Varianssianalyysi*									
	1. Scalping *1. Laikutus*	2. Complete tilling *2. Täysmuokkaus*	3. Ploughing, shoulder *3. Auraus, piennar*	$\bar{x}$ 1—3	4. Ploughing, tilt *4. Auraus, palle*	$\bar{x}$ 1,2,4	Source of variance *Vaihtelun lähde*	Degrees of freedom *Vapausasteet*	Liming *Kalkitus*				Phosphate fert. *Fosforilannoitus*			
									A		B		A		B	
									F	HSD	F	HSD	F	HSD	F	HSD
Shoot dry weight — *Verson kuivapaino*																
$CaCO_3$																
0	19,6±13,9	27,3± 8,3	31,5± 8,9	26,1	36,7±18,0	27,9	Replications — *Lohkot*	2/4	2,85		32,34**		0,03		1,95	
2 000	12,5±13,9	29,7±18,5	23,3±23,3	21,8	40,1±33,2	27,4	Soil treatment — *Maan käsittely* .	2/4	10,99*	10,7	166,76***	4,4	3,23	24,9	18,22**	12,9
4 000	16,1± 3,2	28,8±11,2	29,2±14,4	24,7	40,0± 7,7	28,3	Fertilization — *Lannoitus*	2/16	0,96	4,7	0,03	11,9	0,09	6,2	0,53	4,2
$\bar{x}$	16,1	28,6	28,0	24,2	38,9	27,9	Interaction — *Yhteisvaikutus* .	4/16	0,58		0,58		0,22		0,08	
Basic slag — *Tuomaskuona*																
0	17,9± 7,9	32,0±26,0	33,6±14,5	27,8	42,4±13,5	30,8										
1 500	17,5±14,4	32,6±25,5	31,5±25,4	27,2	33,8±17,9	28,0										
3 000	15,1± 4,9	35,4±14,8	28,0±23,7	26,2	37,0±10,5	29,2										
$\bar{x}$	16,8	33,3	31,0	27,1	37,7	29,3										
Root-system dry weight — *Juuriston kuivapaino*																
$CaCO_3$																
0	4,6± 2,0	6,1± 1,4	6,3± 1,9	5,7	8,2± 4,1	6,3	Replications — *Lohkot*	2/4	1,02		39,19**		0,79		2,42	
2 000	3,5± 2,4	6,6± 8,3	5,4± 4,2	5,2	8,5± 4,7	6,2	Soil treatment — *Maan käsittely* .	2/4	5,24	3,1	122,08***	1,0	4,60	4,0	11,64**	3,1
4 000	3,3± 1,3	6,5± 0,5	6,8± 6,0	5,5	7,8± 2,7	5,9	Fertilization — *Lannoitus*	2/16	0,26	1,1	0,16	1,1	0,13	1,2	0,37	1,0
$\bar{x}$	3,8	6,4	6,2	5,5	8,2	6,1	Interaction — *Yhteisvaikutus* .	4/16	0,55		0,35		0,11		0,85	
Basic slag — *Tuomaskuona*																
0	3,9± 2,3	6,9± 6,2	5,7± 1,3	5,5	8,7± 5,2	6,5										
1 500	4,1± 2,5	7,2± 5,2	6,0± 6,0	5,8	6,6± 0,6	6,0										
3 000	3,5± 1,5	7,5± 0,3	5,2± 2,7	5,4	8,0± 4,5	6,3										
$\bar{x}$	3,8	7,2	5,6	5,7	7,8	6,3										

Table 12. Effect of soil treatment on number of apical and basal buds on the stem and on stem taper. Numbers in brackets are conversion factors. In the ANOVA, A = compared to shoulder, B = compared to tilt (D.F. = 2/15).

Taulukko 12. Maan käsittelyn vaikutus taimien pääverson päätesilmujen ja tyvisilmujen lukumäärään sekä verson kapenemiseen. Suluissa olevat luvut ovat muunnoslukuja. Varianssianalyysissä A = piennar ja B = palle vertailukohteena (vapausasteet = 2/15).

Characteristic *Taimitunnus*	Soil treatment — *Maan käsittely*						Analysis of variance — *Varianssianalyysi*			
							A		B	
	1. Scalping *1. Laikutus*	2. Complete tilling *2. Täysmuokkaus*	3. Ploughing, shoulder *3. Auraus, piennar*	$\bar{x}$ 1—3	4. Ploughing, tilt *4. Auraus, palle*	$\bar{x}$ 1, 2, 4	F-value *F-arvo*	HSD	F-value *F-arvo*	HSD
Apical buds, no — *Päätesilmuja, kpl* ..	4,8 (2,196 ± 0,100)	5,3 (2,307 ± 0,115)	5,5 (2,366 ± 0,236)	5,2 (2,279)	6,3 (2,514 ± 0,010)	5,5 (2,339)	1,35	(0,232)	14,82***	(0,149)
Basal buds, no — *Tyvisilmuja, kpl* ..	11,2 (3,261 ± 0,836)	12,2 (3,433 ± 0,705)	10,7 (3,167 ± 0,912)	11,4 (3,287)	13,2 (3,597 ± 0,543)	12,2 (3,430)	0,18	(1,174)	0,37	(1,007)
Taper of shoot — *Verson kapeneminen*	0,99 (1,535 ± 0,242)	0,97 (1,459 ± 0,208)	0,99 (1,518 ± 0,257)	0,98 (1,504)	0,97 (1,437 ± 0,259)	0,98 (1,477)	0,19	(0,335)	0,31	(0,338)

The number of apical buds, the taper from root collar to a height of 5 cm, and the number of basal buds were recorded only from those transplants growing on plots which had not been limed or fertilized (Table 12). Tilt transplants had formed the most apical buds, a mean of 6,3 buds per transplant. Patch transplants had the fewest apical buds. The soil treatments did not produce any differences in stem taper, even though the stem tapered least on patch transplants. No distinct swelling of the root collar was observed on any of the transplants.

Basal buds frequently occurred on transplants irrespective of soil treatment (Table 12). The number (about 12 per transplant) did not vary much between soil treatments even though transplants grown on the tilt had slightly more basal buds.

Shoot damage

Liming increased slightly the proportion of undamaged transplants and reduced the proportion of transplants with damaged tops (Table 13). Phosphate fertilization had the same effect but only on completely tilled plots and on the shoulder. There were no clear differences in the extent of transplant damage between soil treatments. The proportion of undamaged transplants varied from 30 to 50 per cent. The proportion of transplants with damaged tops varied from 40 to 60 per cent. The proportion of transplants with insect damage was greatest on the shoulder and in the patches. The insect damage was primarily caused by the pine weevil, *Hylobius abietis* L.

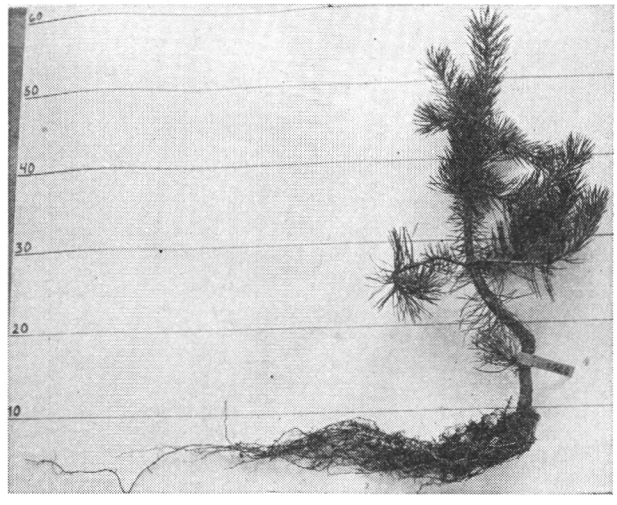


Fig. 6. Transplant planted with a semi-circular hoe on the shoulder, damaged by snow, and with roots badly bent due to the planting technique.

Kuva 6. Kourukuokalla pientareeseen istutettu lumen vaurioittama taimi, jonka juuristo on pahoin taipunut istutustavan vuoksi.

Table 13. Effect of liming and soil treatment, and phosphate fertilization and soil treatment on distribution of shoot damage (%).

Taulukko 13. Maan käsittelyn ja kalkituksen sekä maan käsittelyn ja fosforilannoituksen vaikutus verson vaurioiden jakautumaan (%).

Soil treatment *Maan käsittely*	Type of damage — *Vaurion laatu* Amount of fertilizer kg/ha *Lannoitteen määrä*	1. Undamaged *1. Terve taimi*	2. Insect damage *2. Hyönteisvaurio*	3. Snow damage *3. Lumivaurio*	4. Top damage *4. Latvavaurio*	5. Damage by several agents *5. Useita vaurioita*
Liming — *Kalkitus*						
1. Scalping *Laikutus*	0	40,0	8,0	4,0	48,0	0,0
	2 000	47,8	0,0	0,0	47,8	4,4
	4 000	50,0	0,0	8,3	41,7	0,0
2. Complete tilling *Täysmuokkaus*	0	45,8	4,2	4,2	45,8	0,0
	2 000	33,3	8,3	4,2	50,0	4,2
	4 000	50,0	12,5	0,0	33,3	4,2
3. Ploughing, shoulder *Auraus, piennar*	0	29,1	12,5	4,2	50,0	4,2
	2 000	33,3	0,0	0,0	62,5	4,2
	4 000	45,4	0,0	4,6	45,4	4,6
4. Ploughing, tilt *Auraus, palle*	0	37,5	4,2	0,0	50,0	8,3
	2 000	45,7	8,4	0,0	41,7	4,2
	4 000	33,3	12,5	8,3	45,9	0,0
Phosphate fertilization — *Fosforilannoitus*						
1. Scalping *Laikutus*	0	43,5	4,4	13,0	34,7	4,4
	1 500	27,2	4,6	4,6	59,0	4,6
	3 000	29,2	25,0	0,0	37,5	8,3
2. Complete tilling *Täysmuokkaus*	0	16,7	0,0	12,5	70,8	0,0
	1 500	37,5	8,3	4,2	50,0	0,0
	3 000	54,2	0,0	0,0	37,5	8,3
3. Ploughing, shoulder *Auraus, piennar*	0	33,3	4,8	4,8	57,1	0,0
	1 500	50,0	4,2	0,0	41,6	4,2
	3 000	45,8	20,8	20,8	12,6	0,0
4. Ploughing, tilt *Auraus, palle*	0	58,3	0,0	0,0	41,7	0,0
	1 500	39,1	17,4	0,0	39,1	4,4
	3 000	50,0	0,0	0,0	50,0	0,0

Snow damage occurred with the same frequency and was greatest on transplants growing in patches and on completely tilled plots. Typical snow damage to a shoulder transplant is shown in Figure 6. In general, the transplants were relatively healthy, and the damage did not seem to have any detrimental effect on the transplants.

Development of the root system

Root-system dry weight was not affected by liming or phosphate fertilization (Table 11). Tilt transplants had root systems with larger dry weights compared to transplants grown on plots with other soil treatments. The second largest dry weight for the root system occurred on transplants grown on completely tilled plots; the smallest was on patch transplants. On limed subplots, where the variance was greatest, differences between replications were significant compared to those for transplants on the tilt. This probably indicates that the root-system variation of tilt transplants was greater than that for shoulder transplants.

Liming and phosphate fertilization did not affect the shape of the root system during the 3 growing seasons (Table 14). In contrast, there were clear differences in structure between the root systems which developed in soil subjected to the different soil treatments. This was apparently due to the fact that it was easier to carry out planting in the welltreated soil in the tilt than to plant in the soil in the patches or shoulders which received less preliminary treatment.

Most of the root systems were badly deformed and described as compressed, asymmetrical and tangled (cf. Figure 2). Of the transplants grown in patches, 74,4 % had root systems deformed in this way. Fewer were deformed on completely tilled plots and on the shoulder; and the fewest, less than 40 %, were found on the tilt. More than 50 % of the root systems on the tilt were classified as tangled only. On the other hand, in the patches more than 20 % were tangled only; the rest were even more deformed.

As is indicated by the large proportion of only slightly deformed roots (classified as tangled only) on the tilt, planting in this microrelief was the most successful and the roots had recovered best from the asymmetry caused by planting with a semi-circular planting hoe. This conclusion is also supported by the fact that on an average 2,1 % of the roots on the tilt were classified as normal (Table 14).

Tilt transplants with a re-developed main root increased from 8,3 % to 29,1 % on limed subplots (Table 14). The highest level of liming had the strongest effect on main-root re-development. Phosphate fertilization in the case of the tilt transplants had a smaller but similar effect on mainroot development. Most of the transplants did not have a main root typical of volunteers growing in the natural sapling stand. A few deformed main roots were found on transplants grown on the tilt, shoulder and completely tilled plots.

According to the heterogeneity test, the number of mycorrhizae was not affected by the levels of liming (compared to shoulder: $\chi^2 = 1{,}87$, $V = 6$; compared to tilt: $\chi^2 = 3{,}49$, $V = 6$) nor by levels of phosphate fertilization (compared to shoulder: $\chi^2 = 6{,}29$, $V = 6$; compared to tilt: $\chi^2 = 8{,}36$, $V = 6$). The number of mycorrhizae was affected by soil treatment only on the phosphate-fertilized subplots (compared to shoulder: $\chi^2 = 17{,}70^{**}$, $V = 6$; compared to tilt: $\chi^2 = 40{,}70^{***}$, $V = 6$). On these subplots the number of mycorrhizae was greatest on completely tilled soil and on the

Table 14. Effect of liming and soil treatment, and phosphate fertilization and soil treatment on root-system shape and main-root development of transplants (per cent of transplants).

Taulukko 14. Maan käsittelyn ja kalkituksen sekä maan käsittelyn ja fosforilannoituksen vaikutus taimien jakautumaan (%) juuriston muodon ja pääjuuren kehitykseen (% taimista).

Soil treatment *Maan käsittely*	Amount of fertilizer kg/ha *Lannoitteen määrä*	Root-system shape — *Juuriston muoto*					Main-root development — *Pääjuuren kehitysluokka*			
		1. Developed normally *1. Normaalisti kehittynyt*	2. Tangled *2. Sykkyräinen*	3. Tangled and asymmetrical *3. Sykkyräinen ja toispuolinen*	4. Compressed and asymmetrical *4. Litistynyt ja toispuolinen*	5. Compr., asymm., and tangled *5. Litistynyt, toispuol. ja sykkyr.*	1. Normally developed *1. Normaalisti kehittynyt*	2. Deformed *2. Epämuodostunut*	3. No main-root *3. Ei pääjuurta*	4. Main-root re-developed *4. Uudelleen muodostunut*
Liming — *Kalkitus*										
1. Scalping *Laikutus*	0	0,0	8,0	4,0	0,0	88,0	0,0	0,0	96,0	4,0
	2 000	0,0	16,7	4,2	12,4	66,7	0,0	0,0	91,7	8,3
	4 000	0,0	16,7	4,2	0,0	79,1	0,0	0,0	100,0	0,0
2. Complete tilling *Täysmuokkaus*	0	0,0	4,2	12,5	0,0	83,3	0,0	4,2	95,8	0,0
	2 000	0,0	20,9	0,0	12,5	66,6	0,0	16,7	83,3	0,0
	4 000	0,0	25,0	12,5	0,0	62,5	0,0	8,4	87,4	4,2
3. Ploughing, shoulder *Auraus, piennar*	0	0,0	33,3	20,8	4,2	41,7	0,0	16,7	79,1	4,2
	2 000	0,0	45,8	8,3	0,0	45,9	0,0	20,9	75,0	4,1
	4 000	0,0	12,4	0,0	16,7	70,9	0,0	12,5	83,3	4,2
4. Ploughing, tilt *Auraus, palle*	0	4,2	50,0	4,2	0,0	41,6	0,0	4,2	87,5	8,3
	2 000	4,2	41,7	4,2	0,0	49,9	0,0	4,2	87,5	8,3
	4 000	0,0	45,8	4,2	8,3	41,7	0,0	4,2	66,7	29,1
Phosphate fertilization — *Fosforilannoitus*										
1. Scalping *Laikutus*	0	0,0	34,8	0,0	4,4	60,8	0,0	0,0	100,0	0,0
	1 500	0,0	41,7	0,0	0,0	58,3	0,0	4,2	95,8	0,0
	3 000	0,0	29,2	0,0	0,0	70,8	0,0	0,0	100,0	0,0
2. Complete tilling *Täysmuokkaus*	0	0,0	50,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	87,5	12,5
	1 500	0,0	62,5	0,0	0,0	37,5	0,0	0,0	95,7	4,3
	3 000	0,0	62,5	0,0	0,0	37,5	0,0	0,0	100,0	0,0
3. Ploughing, shoulder *Auraus, piennar*	0	0,0	52,4	0,0	0,0	47,6	0,0	0,0	94,7	5,3
	1 500	4,2	45,8	0,0	0,0	45,8	0,0	8,3	91,7	0,0
	3 000	0,0	41,7	0,0	0,0	58,3	0,0	4,2	91,6	4,2
4. Ploughing, tilt *Auraus, palle*	0	0,0	62,5	0,0	0,0	37,5	0,0	0,0	91,7	8,3
	1 500	4,2	54,2	0,0	0,0	41,6	0,0	4,2	91,6	4,2
	3 000	0,0	66,7	0,0	0,0	33,3	0,0	0,0	83,3	16,7

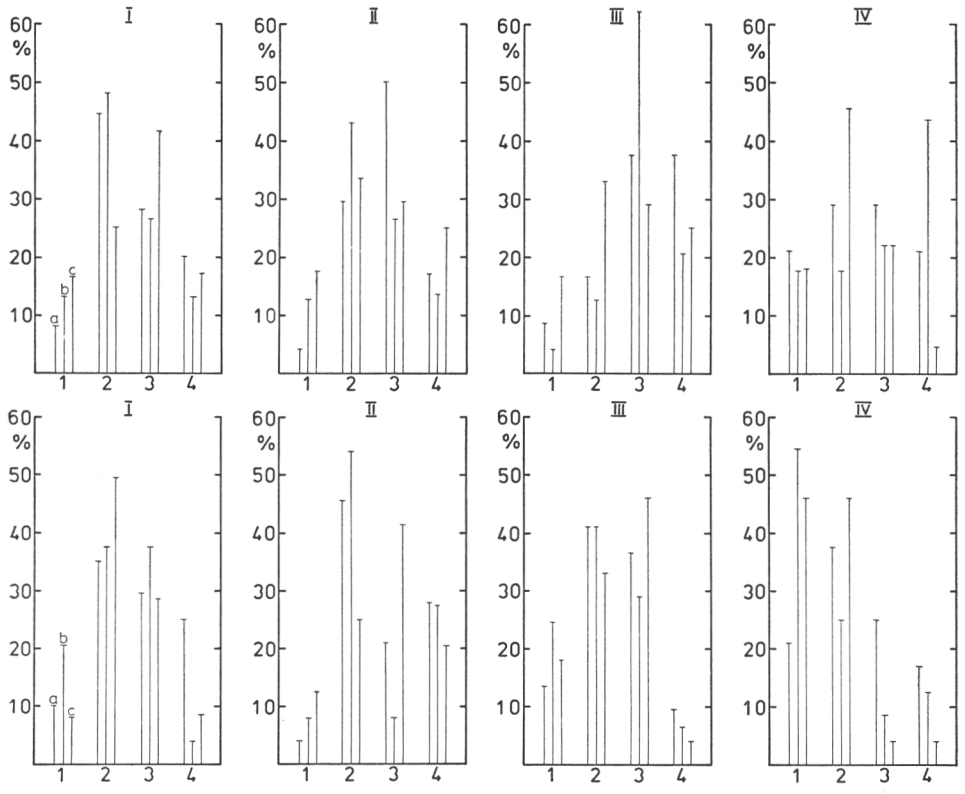


Fig. 7. The effect of liming and soil treatment (upper row), and phosphate fertilization and soil treatment (lower row) on the number of mycorrhizae. Legend: a = unfertilized, b = 2 000 kg $CaCO_3$/ha or 1 500 kg basic slag/ha, c = 4 000 kg $CaCO_3$/ha or 3 000 kg basic slag/ha; I = scalping, II = complete tilling, III = shoulder and IV = tilt. X-axis: 1 = very few mycorrhizae, 2 = few, 3 = medium, 4 = many mycorrhizae.

Kuva 7. Kalkituksen ja maan käsittelyn (ylärivi) sekä fosforilannoituksen ja maan käsittelyn (alarivi) vaikutus juuriston mykoritsaisuuteen. Selitys: a = lannoittamaton, b = 2 000 kg $CaCO_3$/ha tai 1 500 kg tuomaskuonaa/ha, c = 4 000 kg $CaCO_3$/ha tai 3 000 kg tuomaskuonaa/ha; I = laikutus, II = täysmuokkaus, III = piennar ja IV = palle. X-akseli: 1 = erittäin vähän, 2 = vähän, 3 = kohtalaisesti ja 4 = runsaasti mykoritsoja.

shoulder and smallest on the tilt. The soil treatment on the limed subplots had no effect on the number of mycorrhizae (compared to shoulder: $\chi^2 = 3{,}26$, V = 6; compared to tilt: $\chi^2 = 6{,}84$, V = 6). The same was true for the combined data (compared to shoulder: $\chi^2 = 3{,}26$, V = 6; compared to tilt: $\chi^2 = 6{,}81$, V = 6).

Medium or large numbers of mycorrhizae were found on 50 % of the root systems in the patches and on the tilt (Figure 7). Only 4 % of the root systems on the completely tilled plots had very few mycorrhizae. In contrast, 20 % of the transplants on the tilt and 10 % on the shoulder and in the patches had very few mycorrhizae.

Depth, density of the root system, and the shoot-root ratio were examined only on transplants taken from those subplots which had not been limed or fertilized (Table 15). The root system of the patch transplants was the shallowest, somewhat

Table 15. Root characteristics of transplants grown on plots with different soil treatments. In the ANOVA, A = compared to shoulder, B = compared to tilt (D.F. = 2/15).

Taulukko 15. Eri tavoin käsitellyssä maassa kasvaneiden taimien juuristosta mitatut taimi.unnukset. Varianssianalyysissä A = piennar ja B = palle vertailukohteena (vapausasteet = 2/15).

Characteristic *Taimitunnus*	Soil treatment — *Maan käsittely*						Analysis of variance — *Varianssianalyysi*			
							A		B	
	1. Scalping *1. Laikutus*	2. Complete tilling *2. Täysmuokkaus*	3. Ploughing, shoulder *3. Auraus, piennar*	$\bar{X}$ 1—3	4. Ploughing, tilt *4. Auraus, palle*	$\bar{X}$ 1, 2, 4	F-value *F-arvo*	HSD	F-value *F-arvo*	HSD
Depth of root system, cm — *Juuriston syvyys, cm*	12,3±2,3	14,7±3,9	14,1±2,5	13,7	16,3±2,4	14,4	1,18	4,3	3,11	4,2
Density of root system, mg/cm³ — *Juuriston tiheys, mg/cm³*	3,2±0,8	2,9±1,6	1,8±0,8	2,6	1,8±0,9	2,6	2,70	1,6	2,90	1,6
Shoot-root ratio — *Verso-juurisuhde* ...	4,5±0,7	4,7±0,4	5,5±0,8	4,9	4,9±0,4	4,7	4,68*	0,9	0,64	0,8

deeper on transplants growing on the shoulder and on completely tilled plots, and deepest on tilt transplants where on an average the root system was 4 cm deeper than in the patches.

Density of the root system varied considerably among treatments (Table 15). The root system was densest on the patch transplants, and was almost the same as those grown on completely tilled plots. The root systems which developed on the tilt and shoulder were similar to each other but were both much less dense than those described previously.

The ratio of the shoot-root dry weight is often considered to be a measure of the balanced development of the root system. The shoot-root ratio of the patch transplants was the smallest, and largest for the tilt transplants (Table 15). The shoot-root ratio of transplants grown on the shoulder and on completely tilled plots were of the same intermediate size.

33. Comparisons between transplants and volunteers

Since some of the measured characteristics had never been studied before, the same characteristics were also studied on volunteers dug up from the comparison sapling stand (Table 16). The results cannot, however, be directly compared to those for the transplants since the volunteers were growing on an upland site with sandy soil, and thus it differed markedly from the experimental area (see Table 1). It was not possible, however, to find volunteers growing on a site directly comparable to the experimental area.

The average age of the volunteers was 5,2 years, which corresponded well with the age of the transplants (cf. p. 9). Shoot height was also similar for both volunteers and transplants. The length of the terminal leader on the volunteers was clearly shorter than that of the tilt transplants but only slightly shorter than that of the patch transplants. The distribution of the volunteers into condition classes corresponded approximately with the distribution for the transplants. Of the volunteers 6,3 % were very poor, 12,5 % poor, 27,1 % intermediate, 22,9 % normal, 20,8 % good, and 10,4 % well-developed. 54,2 % of the volunteers were undamaged, and 12,5 % had been damaged by insects. Snow damage was found in 20,8 % of the volunteers, which is clearly higher than that for the transplants (cf. Table 13); 12,5 % of the volunteers had been damaged by several agents. Top damage was not found on any of the volunteers; in contrast, this was the most frequent type of damage on the transplants.

The needle length of the volunteers was nearly half the needle length of the transplants, but only a small difference was found in the dry weight of the needle biomass. The nitrogen, phosphorus and potassium content of the needles was lower, but the calcium content of the volunteers was greater than that of the transplants.

The number of apical buds was the same on volunteers and on patch transplants, and the volunteers had somewhat larger root-collar diameters. Stem taper was large

Table 16. Characteristics of volunteers.
Taulukko 16. Luonnontaimista mitatut taimitunnukset.

Characteristic *Taimitunnus*	$\bar{x}$	Characteristic *Taimitunnus*	$\bar{x}$
Age, yr — *Ikä, v.*	5,2	Dry weight of root system, g — *Juuriston kuivapaino, g*	7,7 ±0,9
Height, cm — *Pituus, cm*	41,8 ±1,5	Depth of root system, cm — *Juuriston syvyys, cm*	19,3 ±1,1
Length of shoot, cm — *Kasvaimen pituus, cm*	11,7 ±0,7	Density of root system, mg/cm³ — *Juuriston tiheys, mg/cm³* ...	0,11±0,03
Length of needles, mm — *Neulasten pituus, mm*	24,9 ±0,9	Shoot-root ratio — *Verso-juurisuhde*	3,9 ±0,1
Dry weight of needles, g — *Neulasmassan kuivapaino, g* ..	14,3 ±1,6	Nitrogen content of needles, % — *Neulasten N-pit., %*	1,08±0,05
Number of apical buds — *Päätesilmujen lukumäärä*	4,7 ±0,2	CaO content of needles, mg/g — *Neulasten Ca-pit., CaO mg/g*..	2,37±0,16
Diameter at root collar, mm — *Juurenniskan paksuus, mm* ...	10,3 ±0,5	K_2O content of needles, mg/g — *Neulasten K-pit., K_2O mg/g*..	4,48±0,08
Taper of stem — *Verson kapeneminen*	0,94±0,01	P_2O_5 content of needles, P mg/g *Neulasten P-pit., P_2O_5 mg/g*..	1,13±0,03
Number of basal buds — *Tyvisilmujen lukumäärä*	2,5 ±0,4		
Dry weight of shoot, g — *Verson kuivapaino, g*	28,4 ±3,0		

in the volunteers compared to the transplants, which had almost no taper up to a height of 5 cm. The number of basal buds was clearly lower on the volunteers than on the transplants. Shoot dry weight was about the same order of magnitude for the volunteers and the transplants grown on completely tilled plots and thus larger than those grown in patches and smaller than those grown on the tilt.

The root systems of the volunteers differed markedly from those of the transplants. About 94 % of the volunteer root systems were classified as normal, the remaining 6 % being classified as deformed. In contrast, only 2,1 % of the bestdeveloped transplants, which grew on the tilt, had root systems classified as normal. Most of the volunteers (77,1 %) had a normally developed main root, and 20,8 % had a deformed main root. Only 2,1 % of the volunteers lacked a main root, while 98 % of the transplants grown for instance, in patches, lacked a main root. None of the transplants had a normally developed main root. (cf. Table 14, p. 32).

The root-system dry weight of the volunteers (Table 16) was clearly greater than that of the transplants. Since the shoot dry weight was about the same for both groups of seedlings, the shoot-root ratio of the volunteers was smaller than that of the transplants. The volunteers had much deeper and less dense root systems than the

transplants. The volunteers also had markedly less mycorrhizae than the transplants. The main part of the transplants (39,6 %) had very few mycorrhizae on their roots. Only 10,4 % had very many, and 25 % of the transplants had few or medium numbers of mycorrhizae.

4. DISCUSSION

The soil in the ploughed tilts had the highest porosity and was the most permeable to air and water. Correspondingly, the air volume and humus content were greatest in these microreliefs (cf. **Kauppila** and **Lähde** 1975, **Lähde** and **Pohjola** 1975). The soil in the patches and shoulders was compact, contained little humus, and thus its porosity was small. In addition, the permeability of the soil to water and air was low in the patches and especially so in the shoulders. The most porous layer had been peeled away from the shoulders during ploughing (cf. **Lähde** and **Mutka** 1974b).

Soil temperature directly affects root growth and hence growth of the whole seedling (e.g. **Ladefoged** 1939, **Aaltonen** 1942, **Köstler** et al 1968, **Whittington** 1969, **Orlov** and **Koshelkov** 1971, **Söderström** 1976). Merely tearing the humus and exposing the mineral soil increase soil temperature (**Mørk** 1933, **Yli-Vakkuri** 1961, **Kurayev** and **Shestakova** 1970), but formation of mounds increases soil temperature even more (**Varfolomeyev** et al 1969, **Leikola** 1974, **Kauppila** and **Lähde** 1975, **Söderström** 1976). In this experimental area the warmest planting point was the tilt; the coldest was the patch. In complete tilling the depressions corresponded to the patch, and the mound closely corresponded to the tilt (cf. **Leikola** 1974). This is also indicated by how well the transplants thrive on this microrelief. Soil treatment also increases the temperature in the near-ground air layer (**Bärring** 1967, **Kohh** 1970).

As regards water conditions, the tilt and shoulder provide very different planting points. Measurements show that the tilt was quite a dry substrate throughout the whole summer. Water volume dropped during the driest period to 4—5 % of soil volume at 5 cm depth. Extreme drought may have a detrimental effect on the growth of transplants in thin and uncompressed tilts (**Stratonovich** 1966, **Kalinichenko** et al 1973). When a shoulder plough is used, the tilt may be suspended on slash, stumps and stones and subsequently become too dry. In the Soviet Union the tilts are therefore compressed by tractors (**Shubin** and **Popov** 1959, **Stratonovich** 1966). As a result of preliminary findings, a tilt plough has also been developed in North Finland. Special wheels on this plough compress the tilts immediately as they are formed. At present no data about planting results are available in Finland for tilts prepared in this way.

The best tilt for planting is one with abundant mineral soil lying on top of the humus layer. In the Soviet Union it is recommended that the mineral soil be about 25—35 cm thick (**Suvorov** 1969). According to **Pohtila** (1974b), seedlings have grown best on unburned upland sites planted on tilts made by shoulder ploughs. In this experiment the tilts were on average 25,3 cm high with a mineral soil layer of about 7 cm. According to **Mälkönen** (1972), only 30 % of the tilts made by shoulder ploughs are suitable for planting. This is, however, quite sufficient provided that such tilts are evenly distributed over the planting area.

The water volume in the soil is much greater in the shoulder and also in the patch than in the tilt. Drying does not occur easily since the capillary connections to the deeper layers have not been severed by soil treatment. In the shoulders and patches problems may often be caused by excess moisture. Some investigators, however, consider the shoulder to be a more risk-free planting point than the tilt (**Pohtila** 1972a, 1974a, 1974b, **Mälkönen** 1972). Other studies have yielded results contrary to these findings (**Shubin** and **Popov** 1959, **Lähde** and **Pohjola** 1975). It is obvious that on level and often waterlogged soils which contain large proportions of fine fractions, planted seedlings may suffer from lack of oxygen due to excess water (cf. **Lähde** 1971). On such soils the best results have been obtained by planting on elevated microreliefs (**Lähde** and **Pohjola** 1975).

The slope on the experimental area was so steep in most places that on the ploughed plots water drained off the slope via the furrows. During the dry summer of 1973 water did not even accumulate in the patches.

The optimum air and water volumes in the soil for tree roots is usually regarded as being such that half of the pore volume of the soil is filled with air and the other half with water (**Buckman** and **Brady** 1960). Several investigators consider an air volume of 10 % of soil volume to be minimum for aerobic plants (**Buckman** and **Brady** 1960, **Geisler** 1967). If gas exchange is impaired, the carbon dioxide content may become too high (cf. **Geisler** 1967, **Lähde** 1970). Nutrient uptake in the roots is subsequently impaired due to poor ventilation, and growth is reduced. Such conditions occur on wet sites in the patches and shoulders.

When the transplants were measured, they had been growing in the field for three growing seasons. Consequently, it can be considered that the plantation had recovered from any immediate planting damage. No significant differences in mortality were found between soil treatments. Differences were found, however, for other transplant characteristics. Tilt transplants grew most rapidly and were of the best condition (cf. **Zehetmayr** 1954, **Stratonovich** 1966, **Pohtila** 1972a, **Numminen** 1973, **Lähde** and **Pohjola** 1975).

Judging from the low mortality, the transplants had not suffered from drought even though June 1971, when they were planted, was very dry and all three growing seasons were warmer and, in part, dryer than average. Excessive drying or heating of the tilt was not observed to affect development of the transplants. Note that the

transplants had been planted only on well-formed tilts. Apparently there was still sufficient moisture remaining in the soil after spring to enable the transplants to withstand the dry period which followed planting (cf. **Kurayev** and **Shestakova** 1970). An average amount of precipitation fell during the late summer in 1971. Both precipitation and temperature conditions during the following summer were favourable for transplant development.

Transplants grown on the shoulder had developed somewhat more slowly than those on the tilt. Note that the transplants had been planted close to the tilt where the conditions were better than those closer to the furrow (cf. **Pohtila** 1975). The roots tended to grow into the tilt (**Zehetmayr** 1954, **Sutton** 1969, **Hauge** 1971, **Kalinichenko** et al 1973). The poorest transplants of the poorest condition grew in the patches (cf. **Lähde** and **Pohjola** 1975). In the completely tilled plots the transplants had developed about as well as the shoulder transplants.

Estimates of next year's growth can be based on needle length and number of apical buds, since the needles react first to changing environmental conditions (**Viro** 1965, **Paarlahti** and **Karsisto** 1968). Needle length, number of apical buds and the following year's growth have been found to be closely correlated with each other (**Yli-Vakkuri** et al 1968, **Räsänen** 1970). Thus we may expect that especially on the tilt, but also on the shoulder and completely tilled plots, the development will continue rapidly, and that transplants in the patches will develop more slowly than the others. The distribution into condition classes of the transplants supported this expectation.

According to the needle analysis, there was no deficiency of the most important nutrients (cf. **Aaltonen** 1950, **Viro** 1950, **Leyton** and **Armson** 1955, **Ingestadt** 1963). Results of needle analysis are often regarded as ambiguous and should therefore be supported by soil analysis results (**Aaltonen** 1950, **Baule** and **Fricker** 1967). However, some tentative conclusions may be drawn from the needle analysis. On mineral soil the nutrient content of needles does not vary between sites. Nitrogen is an exception; needles readily reflect changes in the nitrogen content of the soil (**Aaltonen** 1950, **Viro** 1965). In the present study the soil treatment clearly affected only the nitrogen content of the needles. In the Soviet Union, however, soil treatment has also been found to increase the potassium and phosphorus content of the needles (**Kalinichenko** et al 1973). The highest nitrogen content of needles was found on transplants grown on the tilt and completely tilled plots. A large amount of humus is accumulated as a result of these soil treatments. As this humus decomposes, the freed nitrogen becomes available to the transplants (cf. **Mikola** 1957, 1960, **Viro** 1963, 1967, **Tamm** and **Pettersson** 1969). The nitrogen freed in the tilt had also become available to transplants planted close to the tilt on the shoulder.

The transplants generally were in fairly good condition. Pathogens considered most dangerous on reforestation areas in North Finland and the Soviet Union, i.e.,

snow blight and *Scleroderris lagerbergii* Gremmen, were not found on the transplants (cf. **Valtanen** 1972a, **Kohh** 1970, **Chekrizov** 1971, **Norokorpi** 1971). Damage caused by insects occurred to some extent and was caused primarily by the pine weevil. The study by **Heikkilä** (1975) from the same area indicates that damage by insects is 40 % more frequent on seedlings grown on the patches than on those grown on ploughed strips.

Only minor damage by soil frost and icicles in the soil, considered a serious threat to sowed and planted seedlings on ploughed soils, was found (cf. **Chekrizov** 1971, **Pohtila** 1972b, 1974b). Large transplants had already become rooted, and damage due to previous soil frosts had healed over by the time the inventory was carried out. Erosion of furrows, sometimes found on ploughed areas (**Kellomäki** 1972), was minor in the present experiment.

The most frequent damage on the transplants was leader replacement. The causal agent could not usually be determined, but apparently the terminal bud had been damaged by cold or winter parch blight during the first winter in the field (cf. **Eiche** 1966). Pine seedlings are also sensitive to frost in August (**Andersson** 1968). Increased damage caused by exposure due to early melting snow was not implied since tilt transplants were of the best condition. Damage to the terminal bud may also have been caused by nursery conditions, handling and transport (**Räsänen** 1970). Some transplants had been broken by snow, but this damage was not found on the tilts.

The root systems of the transplants were badly deformed, as is also indicated by the lack of a main root. This was caused by planting with the semi-circular hoe, which often causes the root to become compressed, tangled and placed in an oblique position. The effect of improved physical properties of the soil, caused by the soil treatment, was clearly reflected in root-system development. In the patches the root systems were dense, compressed, shallow, poorly developed, and had not changed at all after planting. On the tilt, where conditions were most favourable, the root systems had developed well and had started to recover from damage caused by planting. The central root system was still tangled. The root systems of transplants on the shoulder and completely tilled plots had also started to recover but not as rapidly as on the tilt. On the shoulder the root system had not grown downwards, apparently due to the underlying cold and firm soil (cf. **Paavilainen** 1966a, **Kauppila** and **Lähde** 1975). The root systems of the transplants were narrow and dense compared to the volunteers' root systems. The root density index (cf. p. 12) for the transplant root systems was more than 10 times than for the volunteers.

Extreme deformation of the root system has been found to cause mortality and windthrow (**Wibeck** 1923, **Bergman** and **Häggström** 1973). The seedlings grow normally or even better for about 15 years until the root system has grown into a tangled mass. Subsequently, nutrient flow is restricted between roots and stem, and the assimilated substances which normally pass from the crown to the root accumulate above the root collar where an abnormal swelling is formed. Profuse

growth of the stem by use of nutrients normally transported to the roots is possible up to a certain limit (**Wibeck** 1923, **Bergman** and **Häggström** 1973, **Lähde** and **Siltanen** 1973). There are, however, also results indicating that seedlings do not suffer even from serious defects and damage due to planting (**Huuri** 1972, **Etholén** 1974).

In order to check for possible basal swellings, transplant tapering was measured by calculating the ratio of the diameters at the root collar and 5 cm above it. In addition, the shoot-root ratio was measured, and the number of basal buds above the root collar was counted. Basal buds and branches growing from them seldom occur on pine; if these do occur, they may be regarded as signs of disruption of the physiological balance of the seedlings. The most basal buds occurred on tilt transplants and, in general, on transplants in good condition. On the volunteers some unopened basal buds were also found. These observations indicate that the occurrence of basal buds is not a sign of physiological imbalance. No large swelling had formed at the base of the transplants, but the stem taper of the transplants was smaller than that of the volunteers.

There were clear differences in the shoot-root ratios of the transplants. The largest ratio was found on shoulder transplants. On the tilt and completely tilled plots the shoot-root ratios were slightly smaller, and the smallest ratios were found on patch transplants. The volunteers had a much smaller shoot-root ratio than the transplants, but differences in the sites must be considered. The shoot-root ratio gives a rough estimate of the development of the seedlings but that alone does not describe the development potential since it does not indicate shape and nutrient-absorbing capacity of the root system. The usefulness of the shoot-root ratio as an indicator of the vigour of planted stock has been criticized (**Björkman** 1953).

Conseguently, the seedlings rapidly become infected with mycorrhizae (**Mikola** and **Laiho** 1962, **Mikola** et al 1966, **Laiho** 1967, **Mikola** 1967). Usually there are rather many mycorrhizae on the transplant root systems, but on the roots of tilt transplants there were clearly fewer than on transplants grown on other microreliefs. This was apparently due to low moisture and admixture of humus in the tilt since, according to **Shubin** and **Popov** (1959), the smallest number of mycorrhizae is to be found in dry tilts rich in humus.

In fertilization experiments conducted in the Nordic countries the effect of calcium on tree growth has generally been small and slow (**Viro** 1950, 1965, 1966, 1967, **Tamm** 1965, **Mälkönen** 1972). The good results obtained with liming in Central Europe are due to the warm climate (**Baule** and **Fricker** 1967, **Viro** 1967). On mineral soil phosphate fertilization has given varying results depending on the type of phosphate fertilizer used. In general, the effect has been small but best on fertile sites (**Viro** 1965, 1966, **Tamm** 1965, **Mälkönen** 1972, **Numminen** 1973). In connection with reforestation, rapidly soluble phosphorus fertilizer have usually increased seedling mortality (cf. **Leikola** and **Rikala** 1974). The use of slowly soluble phosphorus fertilizers in reforestation

work carried out on both peatland and mineral soils has generally given positive results (**Zehetmayr** 1954, **Paavilainen** 1966b, **Seppälä** 1966, **Meshechok** 1967, **Mannerkoski** 1971, **Lähde** and **Mutka** 1974a).

In this experiment liming and phosphate-fertilization (basic slag) had no marked effect on transplant development. Since basic slag is a fairly rapidly soluble fertilizer, exessive salt concentration may have caused damage to the seedlings (cf. **Heikurainen** et al 1966, **Leikola** and **Rikala** 1974). Since calcium and potassium together play an important role in water uptake in plants, rich liming may disrupt the balance between calcium and potassium and thus impair water uptake. Especially during a dry summer, liming may severely impair the transplants' water uptake. Both fertilizers gave a slightly negative effect at the highest levels of application.

Fertilization had little effect on root-system development (cf. **Paavilainen** 1966b). Liming seemed to stimulate formation of the main root. An increase in nutrients usually results in branching of the root system (**Köstler** et al 1968, **Heinsdorf** and **Schultzke** 1969, **Sutton** 1969, **Hauge** 1971). Calcium especially has been found to affect root-system development (e.g., **Mustanoja** and **Leaf** 1965, **Baule** and **Fricker** 1967). In the present study fertilization had not yet affected root-system development; the physical properties of the soil and method of planting were more important factors.

Apparently fertilization also had not yet affected formation of mycorrhizae, even though lack of nutrients generally stimulates mycorrhizae formation, and strong fertilization reduces it (**Björkman** 1953, 1961, 1970, **Mikola** 1957, 1967, **Shubin** and **Popov** 1959, **Voigt** 1966).

When inventorying seedling stands, some characteristics must be used to estimate the condition and development of the seedlings. Even though a visual assessment of seedling condition has proven to be very useful (**Yli-Vakkuri** et al 1968), objective measurement results are also needed.

5. SUMMARY

The objective of this experiment was to study the effect of soil treatment, liming and phosphate fertilization on the development of bare-rooted pine transplants. The experimental area was located about 50 km east of Rovaniemi (N 66°17', E 26°40', elev. 290—300 m) in the Kivalo Experimental Forest of the Finnish Forest Research Institute. The soil treatments were scalping, complete tilling with disc plough, and ploughing on the tilt and shoulder.

Measurements carried out to determine the effect of these soil treatments on physical properties of the soil were made during the summer of 1973.

The nursery stock was bare-rooted pine seedlings. The transplants were planted from June 2—7, 1971; and measurements were made in August 1973. The fertilizers were lime ($CaCO_3$) and basic slag applied at three levels. The growing seasons were warmer than average and in part dryer than average.

The main results of the study were:

1. In the ploughed tilt the soil was warmest the most porous and well-aerated, contained the most humus, and the permeability to air and water was highest. In the shoulder the soil was firmest and the humus content and permeability to water and air were least. In the patches the soil properties were similar to those of the shoulder, but the soil was somewhat more porous and contained more humus. In the completely tilled plots the soil differed between mounds and depressions. In the mounds the conditions were the same as those in the tilt and in the depression the same as in the shoulder.

2. When the soil thawed in the spring, the tilt dried very quickly. Thus the air volume in the soil remained very high throughout the whole summer. At times it was about 50—60 % of the soil volume. In contrast, in the shoulder and patches the soil dried slowly, and the shoulder remained wet even during the driest period of the summer. Since the porosity was low in the shoulder it was sometimes entirely filled with water. Consequently, the amount of air in the shoulder was at times insufficient for root growth.

3. Transplant survival was good, and no important differences in mortality were found between treatments. In contrast, soil treatment strongly affected development. On the tilt the transplants were the tallest, had grown best and were in the best condition. The transplants had grown somewhat poorer on the shoulder and on the

completely tilled plots. In the patches the transplants were smallest, poorly developed and in the poorest condition. Similar trends were indicated by the other transplant characteristics. Injury to the tops was the most common type of damage.

4. Soil treatment clearly affected the nitrogen content of the needles. This content was highest on tilt transplants and on those on completely tilled plots. The needles of patch transplants had the lowest nitrogen content. Soil treatment had not affected the potassium, phosphorus or calcium content of the needles.

5. Planting with a semi-circular hoe damaged the root system. On the tilt the root systems had recovered best. Here the root-system dry weight was also the highest, and the root system was deepest and most extensively branched. Almost equally good root systems had developed on completely tilled plots, but in the patches the root systems had hardly developed at all. Tilt transplants had the fewest mycorrhizae on their roots. There were no differences in the number of mycorrhizae between other treatments.

6. Liming and phosphate fertilization did not affect mortality or growth of the surviving transplants. Similar trends were indicated by the other characteristics. Fertilization reduced the number of mycorrhizae somewhat but did not affect root-system development in any other way.

From a practical viewpoint, liming and phosphate fertilization do not appear to affect initial development of bare-rooted pine transplants. In contrast, soil treatment has a very strong effect. On a thick-humus site, such as that studied, the tilt resulting from ploughing is the best growing point for initial development of seedlings, and it is likely that the differences in growth between the tilt and the other treatments will be even greater when the transplants grow older.

6. REFERENCES

AALTONEN, V. T. 1920. Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidenwäldern Lapplands. Acta For. Fenn. 14: 1—55.

—»— 1940. Metsämaa. Metsämaatieteen oppi- ja käsikirja. 615 p. Porvoo. Werner Söderström Osakeyhtiö.

—»— 1942. Muutamia kasvukokeita puuntaimilla. Referat: Einige Vegetationsversuche mit Baumpflanzen. Acta For. Fenn. 50 (6): 1—33.

—»— 1950. Die Blattanalyse als Boniterungsgrundlage des Waldbodens. Seloste: Lehtianalyysi metsämaan hyvyysluokituksen perustana. Commun. Inst. For. Fenn. 37 (8): 1—41.

ANDERSSON, B. 1968. Om temperaturförhållandena på kala hedar samt tall- och granplantors känslighet för frost under vegetationsperioden. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 2: 109—158.

BÄRRING, V. 1967. Studier av metoder för plantering av gran och tall på åkermark i södra och mellersta Sverige. Summary: Studies of methods employed in the planting of *Picea abies* (L.) H. Karst. and *Pinus silvestris* L. on farm land in southern and central Sweden. Stud. For. Suec. 50: 1—332.

BAULE, H. & FRICKER, C. 1967. Die Düngung von Waldbäumen. 259 p. München.

BERGMAN, F. & HÄGGSTRÖM, B. 1973. Några faktorer av betydelse vid skogplantering med rotade plantor. Summary: Some important facts considering planting with rooted forest plants. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 6: 565—578.

BJÖRKMAN, E. 1953. Om orsakerna till granens tillväxtsvårigheter efter plantering i nordsvensk skogmark. Norrl. SkogsvFörb. Tidskr. 2: 285—316.

—»— 1961. The influence of ectotrophic mycorrhiza on the development of forest tree plants after planting. 15 p. IUFRO 13. Kongress, 2 Teil, Band 1. Section 24—1. Wien.

—»— 1970. Mycorrhiza and tree nutrition in poor forest soils. Sammanfattning: Mykorrhiza och näringsupptagning hos skogsträd i mager skogsjord. Stud. For. Suec. 83: 1—24.

BUCKMAN, H. O. & BRADY, N. C. 1960. The nature and properties of soils. A college text of edaphology. 653 p. 7. rev. ed. New York. The Macmillan Company.

CAJANDER, A. K. 1916. Metsänhoidon perusteet I. Kasvibiologian ja kasvimaantieteen perusteet. 735 p. Porvoo. Werner Söderström.

CHEKRIZOV, E. A. 1971. O nekotorykh boleznakh sosnovykh kultur na Kolskom poluostrove. Sbornik rabot po lesnomu hozyaistvu i lesokhimii. 13 p. Arkhangelsk. Severo-Zapadnoyeknizhnoye izdtelstvo.

EICHE, W. 1966. Cold damage and plant mortality in experimental provenance plantations with Scots pine in northern Sweden. Sammanfattning: Köldskador och platdöd i proveniensförsök med tall i Norrland. Stud. For. Suec. 36: 1—219.

ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. Seloste: Maan raekoostumuksen määrittäminen. Acta Agr. Fenn. 122: 1—122.

ETHOLÈN, K. 1974. Istutustavan vaikutus männyn viljelytulokseen. Finnish Forest Research Institute. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 6: 1—9.

GEISLER, G. 1967. Bodenluft und Planzenwachstum under bosonderer Berücksichtigung der Wurzel. Arbeiten der Landwitschaftlichen Hochschule Hohenheim. Band 40: 1—116. Stuttgart.

HAUGE, T. 1971. Rotutvikling etter planting og gjødsling av gran på myr. Resultater etter 6 vekstsesonger. Summary: Root development after planting and fertilization of Norway spruce on bog. Results after 6 growing seasons. Tidskr. Skogsbr. 79 (3): 315—326.

HEIKINHEIMO, O. 1920. Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot. Referat: Vorkommen, Umfang und Holzvorräte der Fichtenwälder in Nord-Finnland. Acta For. Fenn. 15 (1): 1—170.

—»— 1941. Metsänistutusmenetelmistä. Referat: Versuche mit waldbaulichen Pflanzenmethoden. Commun. Inst. For. Fenn. 29 (4): 1—63.

HEIKKILÄ, R. 1975. Männyn viljelytaimistojen eläintuhoista Pohjois-Suomessa. Finnish Forest Research Institute. Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 14: 20—25.

HEIKURAINEN, L., PÄIVÄNEN, J. & SEPPÄLÄ, K. 1966. Koetuloksia männyn kylvöstä ja istutuksesta ojitetuilla soilla. Summary: Some results of pine seeding and planting on drained peat soils. Silva Fenn. 119 (2): 1—21.

HEINSDORF, D. & SCHULTZKE, D. 1969. Zur Feinwurzelverteilung jünger Kiefern und Roteichen in einem humusarmen Sandboden nach Tiefumbruch. Pflugstreifenbearbeitung und mineralischer Düngung. Institut für Forstwissenschaften Eberswalde.

HUURI, O. 1972. Istutuksen suoritustavan vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. Summary: The effect of deviating planting techniques in initial development of seedlings of Scots pine and Norway spruce. Commun. Inst. For. Fenn. 75 (6) 1—92.

INGESTADT, T. 1963. Macro element nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solutions. Sammanfattning: Inverkan av varierad makronäringstillförsel på tall-, gran- och björkplantor i näringslösningar. Meddelanden Statens Skogsforskningsinstitut 51 (7): 1—150.

KALELA, E. 1950. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista. Summary: On the horizontal roots in pine and spruce stand. Acta For. Fenn. 57 (2): 1—68.

KALINICHENKO, N. P., PISARENKO, A. J. & SMIRNOV, N. A. 1973. Lesovosstanovleniye na vyrubkakh. 324 p. Moskva. Lesnaya promyshlennost.

KAUPPILA, A. & LÄHDE, E. 1975. Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. Summary: On the effects of soil treatments on forest soil properties in North-Finland. Folia For. 230: 1—29.

KELLOMÄKI, S. 1972. Maan pinnan reliefin ja kasvillisuuden kehityksestä aurauksen jälkeisinä vuosina Perä-Pohjolan metsänuudistusaloilla. University of Helsinki. Department of Silviculture. Tiedonantoja 8: 1—56.

KOHH, E. 1970. Bidrag till frågan om skogsmarksplöjning. Sveriges Skogsv Förb. Tidskr. 2: 75—106

KÖSTLER, J. N., BRÜCKNER, E. & BIEBELRIETHER, H. 1968. Die Wurzeln der Waldbäume. Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. 284 p. Hamburg. Verlag Paul Parey.

KURAYEV, V. N. & SHESTAKOVA, V. A. 1970. Izmeneniye svoistv pochv pri razlichnykh sposobakh podgotovki ikh k lesnym kulturam. Lesovedeniye 1970 (1): 75—81.

LADEFOGED, K. 1939. Untersuchungen über die Periodizität im Ausbruch und Längenwachstum der Wurzeln bei einigen unserer gewöhnlichsten Waldbäume. Forstl. Forsøgsv. Danmark 16: 1—256.

LÄHDE, E. 1971. Maan fysikaaliset ominaisuudet ja männyn taimistojen kehitys Pohjois-Suomessa. Finnish Forest Research Institute. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 2: 16—26.

—»— 1973. Metsämaan ominaisuudet ja männyntaimistojen kunto Pohjois-Suomessa. Summary: The qualities of forest soil and the condition of pine plantations in northern Finland. The Research Society of Lapland. Year Book 14: 5—10.

—»— 1973. The effect of seed-spot shelters and cold stratification on germination of pine (*Pinus silvestris* L.) seed. Seloste: Kylvösuojan ja kylmästratifioinnin vaikutus männyn siemenen itämiseen. Folia For. 196: 1—16.

—»— 1974a. Rate of decomposition of cellulose in forest soils in various parts of the Nordic countries. Rep. Kevo Subarctic Res. Stat. 11: 72—78.

—»— 1974b. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Seloste: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. Commun. Inst. For. Fenn. 84 (3): 1—23.

—»— & KINNUNEN, K. 1974. Paperikennon ja turveruukun seinän lujuus ja taimien alkukehitys Pohjois-Suomessa. Summary: The relationship between the wall strenght of paper and peat pots and the initial development of seedlings in northern Finland. Folia For. 197: 1—19.

—»— & MUTKA, K. 1974a. Kylvösuojan ja raakafosfaattilannoituksen vaikutus männyn siementen itämiseen ja sirkkataimien kehitykseen ojitetulla avosuolla Pohjois-Suomessa. Summary: The effect of sowing shelters and rock phosphate on germination of pine (*Pinus silvestris* L.) seeds and development of the germlings on a drained open swamp in northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 83 (2): 1—36.

—»— & MUTKA, K. 1974b. 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. Commun. Inst. For. Fenn. 83 (3): 1—53.

—»— & OKSANEN, A. 1969. Morfologiset, gravimetriset ja fotometriset tunnukset männyn taimien juuristojen kuvaajina. Summary: Morphological, gravimetric and photometric characteristics in describing of the root systems of pine transplants. Silva Fenn. 3 (4): 234—250.

—»— & POHJOLA, T. 1975. Maan käsittelyn vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. Finnish Forest Research Institute. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 8: 1—29.

—»— & SILTANEN, S. 1973. Männyntaimien kunto ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of the root system and the condition of the pine (*Pinus silvestris* L.) seedlings in northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 78 (7): 1—31.

LAIHO, O. 1967. Field experiments with ectendctrophic Scots pine seedlings. 14. IUFRO Kongress München. Papers 5, Section 24: 149—157.

—»— 1970. Paxillus Involutus as a mycorrhizal symbiont of forest trees. Acta For. Fenn. 106: 1—73.

LAITAKARI, E. 1929. Männyn juuristo. Morfologinen tutkimus. Summary: The root system of pine (*Pinus silvestris*). A morphological investigation. Acta For. Fenn. 33 (1): 1—380.

LEHTINEN, E. 1967. Tienrakennuksen tiivistystarkkailumenetelmiä. Summary: Compaction control methods for highway construction. The State Insitute for Technical Research, Finland. Tiedotus. Sarja III — Rakennus. 111: 1—127.

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.

—»— & RIKALA, R. 1974. Lannoituksen vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen kangasmailla. Summary: The effect of fertilization on the initial development of pine and spruce on mineral soils. Folia For. 201: 1—19.

LEYTON, L. & ARMSON, K. 1955. Mineral composition of the foliage in relation to the growth of Scots pine. For. Sci. 1 (3): 210—218.

LINDLEY, D. V. & MILLER, J. C. P. 1962. Cambridge elementary statistical tables. 4th ed. 35 p. Cambridge. The Syndics of the Cambridge University Press.

MÄLKÖNEN, E. 1972. Näkökohtia maan muokkauksesta. Summary: Some aspects conserning soil cultivation. Folia For. 137: 1—11.

MANNERKOSKI, H. 1971. Lannoituksen vaikutus kylvösten ensi kehitykseen kylvöalustalla. Summary: Effect of fertilization on the initial development of Scots pine and Norway spruce plantations established by sowing on peat. Silva Fenn. 5 (2): 105—128.

MESHECHOK, B. 1967. Om startgødsling ved skogkultur på myr. Summary: Initial fertilization when afforesting open swamps. Medd. Norske Skogforsøksv. 87 (21): 1—140.

MIKOLA, P. 1957. Tutkimuksia taimitarhamaasta ja sen vaikutuksesta taimien kehitykseen. Summary: Studies on soil properties and seedling growth in Finnish forest nurseries. Commun. Inst. For. Fenn. 49 (2): 1—78.

—»— 1960. Comparative experiment on decomposition rates of forest litter in southern and northern Finland. Oikos 11 (1): 161—166.

—»— 1967. The effect of mycorrhizal inoculation on the growth and root respiration of Scotch pine seedlings. 14. IUFRO Kongress München. Papers 5. Section 24: 100—111.

—»—, HAHL, J. & TORNIAINEN, E. 1966. Vertical distribution of mycorrhizae in pine forests with spruce undergrowth. Ann. Bot. Fenn. 3: 406—409.

—»— & LAIHO, O. 1962. Mycorrhizal relations in the raw humus layer of northern spruce forests. Commun. Inst. For. Fenn. 55 (18): 1—13.

MØRK, E. 1933. Temperaturen som foryngelsefaktor i de norfrønderske granskoger. Zusammenfassung: Über die Bedeutung der Temperatur für die Verjüngung in den Fichtenwäldern von Nord Tröndelag. Medd. Norske Skogforsøksv. 16—19: 1—156.

MUSTANOJA, K. J. & LEAF, A. L. 1965. Forest fertilization research 1957—1964. Bot. Rev. 31 (2): 151—246.

NOROKORPI, Y. 1971. Männyn viljelytaimistojen tuhoista Pohjois-Suomessa. Finnish Forest Research Institute. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 2: 37—49.

NUMMINEN, E. 1973. Auraus-, lannoitus- ja puulajikoe Sodankylän Vaalolehdossa. Finnish Forest Research Institute. Kolarin tutkimusaseman tiedonantoja 3: 1—21.

ORLOV, A. J. & KOSHELKOV, S. P. 1971. Pochvennaya ekologiya sosny. 323 p. Moskva. Nauka.

PAARLAHTI, K. & KARSISTO, K. 1968. Koetuloksia kaliummetafosfaatin, raakafosfaatin, hienofosfaatin ja superfosfaatin käyttökelpoisuudesta suometsien lannoituksessa. Summary: On the usability of potassiummetaphosphate, rawphosphate, rock phosphate and superphosphate in fertilizing peatland forests. Folia For. 55: 1—17.

PAAVILAINEN, E. 1966a. Maan vesitalouden järjestelyn vaikutuksesta rämemännikön juurisuhteisiin. Summary: On the effect of drainage on root systems of Scots pine on peat soils. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (1): 1—110.

—»— 1966b. Istutettujen taimien juuriston ensi kehityksestä tupasvillarämeillä. Summary: Initial development of root systems of Scots pine transplants in an *Eriophorum vaginatum* swamp. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (6): 1—17.

POHTILA, E. 1972a. Tutkimuksia aurattujen alueiden metsänviljelymenetelmistä Koillis-Suomessa. Tulokset vuosina 1967—68 tehdyistä männyn kylvö- ja istutuskokeista. University of Helsinki. Department of Silviculture. Tiedonantoja 6: 1—97.

—»— 1972b. Istutuskuoppaan annetun kuparihienofosfaatin vaikutus männyn ja kuusen taimien elossapysymiseen ja pituuskasvuun eräällä kulotetulla ja auratulla uudistusalalla Koillis-Suomessa. Summary: Effect of fine-ground copper rock phosphate placed in the planting hole on the survival and height growth of Scots pine and Norway spruce in a burnt and furrowed reforestation area in North-east Finland. Silva Fenn. 6 (1): 14—24.

—»— 1974a. Tuloksia metsänviljelyn runkotutkimuksesta. Finnish Forest Research Institute. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 6: 28—41.

—»— 1974b. Tutkimuksia aurattujen alueiden metsänviljelymenetelmistä Koillis-Suomessa II. Aurauksen ja kulotuksen vaikutus männyn viljelyn onnistumiseen vuosina 1968—70 perustetussa kokeessa. University of Helsinki. Department of Silviculture. Tiedonantoja 11: 1—65.

POHTILA, E 1975. Aurattujen alueiden viljelymenetelmä Lapissa. 162 p. Unpublished. University of Helsinki. Department of Silviculture.

RÄSÄNEN, P. K. 1970. Nostoajankohdan, pakkaustavan, varastointiajan pituuden ja kastelun vaikutuksesta männyn taimien kehitykseen. Summary: The effect of lifting date, packing, storing and watering on the field survival and growth of Scots pine seedling. Acta For. Fenn. 112: 1—27.

SCHULTZ, R. 1972. Root development of intensively cultivated Slash pine. Soil Sci. 36: 158—162.

SEPPÄLÄ, K. 1966. Turvemaiden metsänviljelystä. Summary: Seedling and planting on peatlands. Suo 1966 (3): 52—54.

SHUBIN, V. J. & POPOV, L. V. 1959. Issledovaniya po vaprosu agrotekhniki lesnykh kultur na kontsentrirovannykh vyrubkakh v yuzhnoi Karelii. Trudy Karelskogo filiala Akademii nauk SSSR, vyp 16: 47—81.

SIRÈN, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus site in northern Finland and its ecology. Seloste: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta For. Fenn. 62 (4): 1—408.

SÖDERSTRÖM, V. 1976. Analys av markberedningseffekterna vid plantering på några färska hyggen. Summary: Analysis of the effects of scarification before planting conifers on some newly clearfelled areas in Sweden. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 74 (2—3): 59—333.

STRATONOVICH, A. J. 1966. Lesnye kultury tajezhnoi zony. 162 p. Moskva. Lesnaya promyshlennost.

SUTTON, R. F. 1969. Form and development of conifer root systems. Technical Communication 7. 131 p. Oxford. Farnham Royal, Bucks.

SUVOROV, V. I. 1969. Vliyaniye sposoba chastichnoi obrabotki pochvi na rost i obmen veshshestv v sosny i yeli v kulturakh na vyrubkakh. P. 72—74. Petrozavodsk. Tezisy vsesoyuznogo cobeshchaniya po voprosam pitaniya drevesnykh rastenii i povysheniya produktivnosti nasazhdenii. Kareliya.

TAMM, C. O. 1965. Some experiences from forest fertilization trials in Sweden. Silva Fenn. 117 (3): 1—24.

—»— & PETTERSSON, A. 1969. Studies on nitrogen mobilisation in forest soils. Sammanfattning: Studier över kvävemobilisering i skogsjord. Stud. For. Suec. 75: 1—39.

VALTANEN, J. 1972a. Avoalan suuruuden vaikutus männyn viljelyn tuloksiin Pohjois-Suomessa. Finnish Forest Research Institute. Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 2: 1—3.

—»— 1972b. Paakkutaimien käyttökelpoisuudesta metsänviljelyssä. Finnish Forest Research Institute. Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 2: 1—5.

VARFOLOMEYEV, L. A., PIGARYEV, F. T. & SENTSHUKOV, B. A. 1969. Izmeneniye temperaturnogo rezhima pochv zabolochennykh vyrubok pod vozdeistviem obrabotki ikh pod lesnyye kultury. P. 76—77. Petrozavodsk. Tezisy vsesoyuznogo cobeshchaniya po voprosam pitaniya drevesnykh rastenii i povysheniya produktivnosti nasazhdenii. Kareliya.

VIRO, P. J. 1950. Fertilization trials on forest soils. Seloste: Metsämaan lannoituskokeita. Commun. Inst. For. Fenn. 37 (7): 1—23.

—»— 1952. Kivisyyden määrittämisestä. Summary: On the determination of stoniness. Commun. Inst. For. Fenn. 40 (3): 1—23.

—»— 1963. Factorial experiments on forest humus decomposition. Soil Sci. 95 (1): 24—30.

—»— 1965. Estimation of the effect of forest fertilization. Seloste: Metsän lannoituksen vaikutuksen arvioiminen Commun. Inst. For. Fenn. 59 (3): 1—42.

—»— 1966. Kangasmaan taimiston lannoitus. Summary: Manuring of young plantations. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (4): 1—30.

—»— 1967. Forest manuring in mineral soils. Medd. Norske Skogforsøksv. 85 (23): 113—136.

VOIGT, G. K. 1966. Phosphorus uptake in young Pitch pine (*Pinus rigida* Mill.). Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30 (3): 403—406.

WIBECK, E. 1923. Om missbildning av tallens rotsystem vid spettplantering. Referat: Über Missbildung des Wurzelsystems der Kiefer bei Steileisempflanzung. Meddelanden Statens Skogförsöksanstalt 20: 261—304.

WHITTINGTON, W. J. 1969. Root growth. Proceedings of the Fifteenth Easter School in agricultural science. 450 p. London. University of Nottingham.

WILDE, S. A. 1958. Forest Soils. Their properties and relation to silviculture. 537 p. New York. The Ronald Press Company.

—»—, VOIGT, G. K. & IYER, J. G. 1964. Soil and plant analysis for tree culture. 209 p. Jodhpur. Oxford Publiching House.

ZEHETMAYR, J. W. 1954. Experiments on tree planting on peat. For. Comm. Bull. 22: 1—110.

YLI-VAKKURI, P. 1961. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja ensi kehityksestä kuusikoissa ja männiköissä. Summary: Experimental studies on the emergence and initial development of tree seedlings in spruce and pine stands. Acta For. Fenn. 75 (1): 1—122.

—»—, RÄSÄNEN, P. K. & HILLI, A. 1968. Taimien talvivarastoinnista ja sen vaikutuksesta männyn istutuskelpoisuuteen. Summary: Overvinter cold-storage and its effect on the field survival and growth of planted Scots pine. Acta For. Fenn. 88: 1—40.

SELOSTE

JOHDANTO

Maan liika kosteus on usein puiden kasvua rajoittava tekijä Pohjois-Suomessa. Märkä maa pysyy kauan kylmänä, maan kaasunvaihto on heikkoa, humuksen hajaantuminen estyy ja taimien juuriston hengitys ja kasvu hidastuvat. Tällöin juuristosta kehittyy vähähaarainen, matala ja suppea. Tehokkaalla maan käsittelyllä, kuten aurauksella, pyritään viljelytyön teknisen helpottamisen lisäksi kuohkeuttamaan maata sekä johtamaan liika vesi pois.

Maan käsittelyn ohella taimien elinolosuhteita parannetaan lannoittamalla. Metsänviljelyn yhteydessä käytetään lannoitusta yleisesti vain turvemailla, mutta jonkin verran kokeita on myös tehty kivennäismailla. Nopealiukoiset ravinteet lisäävät taimien kuolleisuutta. Hidasliukoisten fosforilannoitteiden vaikutus on yleensä merkityksetön tai lievästi positiivinen. Kalkituksen vaikutus on yleensä hidas.

Istutus aiheuttaa monesti taimien juuristolle vaurioita ja juuriston epämuotoisuutta. Puulajista ja maan ominaisuuksista riippuu, kuinka taimi toipuu juuristovaurioista. Mänty ei pysty muodostamaan jälkijuuria ja siksi sen juuriston korjautuminen on hidasta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää laikutuksen, aurauksen ja lautasauralla tehdyn ristiinaurauksen eli täysmuokkauksen vaikutusta maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä ko. käsittelyjen ja kalkituksen sekä fosforilannoituksen vaikutusta paljasjuuristen männyn taimien verson ja juuriston alkukehitykseen Pohjois-Suomessa.

TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

Koealue sijaitsee n. 50 km Rovaniemeltä Kemijoen vartta itään Metsäntutkimuslaitoksen Kivalon kokeilualueessa (66°17′N; 26°40′E; 290—300 m mpy) etelään viettävällä rinteellä. Se oli avohakattu talvella 1969—70. Koekenttä perustettiin split-plot periaatteella kahtena kolmen lohkon systeeminä. Metsätyyppi on HMT, ja maa on kivistä hietamoreenia (taulukko 1).

Lohkot jaettiin maankäsittelyruutuihin, joiden koko oli 20×45 m. Ruudut (6 kpl) arvottiin kussakin lohkossa erikseen. Maan käsittely tehtiin keväällä 1970. Tässä työssä rajoituttiin tutkimaan vain laikutusta, täysmuokkausta sekä aurauksen piennarta ja palletta. Maan käsittelyn jälkeen ruudut jaettiin kolmeen 20×15 m osaruutuun. Toinen systeemi kalkittiin ($CaCO_3$) ja toinen lannoitettiin tuomaskuonalla. Lannoitustasoja oli kolme: 1. lannoittamaton 2. kalsiumkarbonaattia 2 000 kg/ha tai tuomaskuonaa 1 500 kg/ha ja 3. kalsiumkarbonaattia 4 000 kg/ha tai tuomaskuonaa 3 000 kg/ha. Kalkitus ja fosforilannoitus tehtiin 1—16. 7. 1970 puolen metrin levyiselle kaistalle, johon viljely tehtiin. Paljasjuuriset männyn taimet (IM+IA) istutettiin kourukuokalla 2—7. 6. 1971.

Vertailua varten mitattiin myös luonnontaimia. Koeala valittiin läheisestä taimistosta, joka sijaitsi n. 6 km koekentältä pohjoiseen. Se on tasaista EMT-kangasmaata ja maalaji on kivetöntä lajittunutta hiekkaa (taulukko 1).

Koealueen maan (mittaussyvyys 5 cm) ja ilman lämpötilatiedot ja sademäärät saatiin **Leikolan** (1974) samalta koekentältä tekemästä tutkimuksesta. Maan muiden ominaisuuksien mittaamista varten määritettiin jokaiseen maankäsittelyruutuun (20 × 45 m) viisi mittauspistettä, yksi ruudun lävistäjien leikkauspisteeseen ja muut leikkauspisteen ja ruudun nurkan puoliväliin. Pisteistä tai niistä otetuista näytteistä mitattiin maan lajitekoostumus, humuksen sekä A- ja B-horisontin paksuus, kivisyys ja rinteen kaltevuus sekä maan tilavuuspaino, humuspitoisuus, kosteus, vedenläpäisevyys ja ilmanläpäisevyys. Tilavuuspainosta laskettiin maan huokostila.

Maan vesitila määritettiin volymetrinäytteistä. Maan ilmatila saatiin vähentämällä huokostilasta veden tilavuus. Kosteuden vaihtelu mitattiin karbidimittarilla. Painoprosentteina ilmaistu kosteus muutettiin tilavuusprosenteiksi ilmatilan määritystä varten. Muunnos tehtiin samoista pisteistä mitattujen volymetrinäytteiden avulla. Maan vedenläpäisevyys mitattiin lieriömenetelmällä ja ilmanläpäisevyys verenpainemittarista kehitetyllä laitteella.

Taimien elossaolo inventoitiin syksyllä 1973. Inventoinnissa ei eritelty aurauksen palletta ja piennarta, vaan tulokset esitetään tältä osin yhdistettynä. Muilta osin tulosten laskennassa verrattiin aurauksen piennarta ja palletta erikseen muihin maan käsittelytapoihin, sillä taimien mittaukset aurauksen pientareesta ja palteesta tehtiin samoista ruuduista, eikä niitä siten voitu pitää keskenään täysin vertauskelpoisina varianssianalyysissä.

Kustakin 20 × 15 m osaruudusta otettiin elokuussa 1973 kahdeksan tainta koetaimiksi. Aurauksesta otettiin koetaimet erikseen pientareesta ja palteesta. Otanta tapahtui arpomalla koordinaattipisteet. Pistettä lähimmäksi sattunut elävä taimi otettiin koetaimeksi. Luonnontaimien otanta tapahtui vertailualan mittauslinjalta systemaattisesti tasavälein.

Taimet kaivettiin juurineen maasta. Laboratoriossa taimista mitattiin seuraavat tunnukset:

— Kuntoluokka **Yli-Vakkurin** ym. (1968) luokitusta käyttäen:
  1. Erittäin huonokuntoinen taimi.
  2. Huonokuntoinen taimi.
  3. Keskinkertaisesti kasvanut taimi.
  4. Normaalisti kehittynyt taimi.
  5. Hyvä taimi.
  6. Erittäin hyvä taimi.
— Taimen ja kesän 1973 kasvaimen sekä saman kasvaimen neulasten pituus.
— Verson, juuriston ja neulasmassan kuivapaino.
— Neulasten typpi-, fosfori-, kalium- ja kalsiumpitoisuus.
— Pääverson latvasilmujen lukumäärä.
— Verson vauriot käyttäen luokitusta, joka käy ilmi esim. taulukosta 13.
— Juurenniskan ja verson paksuus 5 cm (verson kapeneminen) juurenniskan yläpuolelta.
— Rungossa havaittujen jälkisilmujen eli tyvisilmujen määrä.
— Keskusjuuriston syvyys.
— Juuriston muoto määritettiin silmävaraisesti (kuva 2).
— Pääjuuren kehitys mitattiin käyttäen luokitusta, joka käy ilmi taulukosta 14.
— Juuriston tiheys mitattiin neljän vastakkaisasentoisen juuren pituutena aloittaen pisimmästä juuresta. Juurten keskipituutta käytettiin sen kärjellään olevan kartion säteenä, jonka korkeus oli juuriston syvyys. Juuriston tiheys saatiin jakamalla juuriston kuivapaino tämän kartion tilavuudella.
— Kuivapainojen verso-juurisuhde.
— Juuriston mykoritsaisuus määritettiin seuraavasti:
  1 = erittäin vähän mykoritsoja, 2 = vähän mykoritsoja, 3 = kohtalaisesti mykoritsoja ja 4 = runsaasti mykoritsoja.

Koetaimien kasvuaika sattui ilmastollisesti keskimääräistä lämpimämpään ja kuivempaan jaksoon (taulukko 3, kuva 1).

TUTKIMUKSEN TULOKSET

Aurauksen pientareessa maan tilavuuspaino oli suurin, huokostila ja humuspitoisuus pienin (taulukko 4). Aurauksen palle oli kuohkein ja ilmavin kasvualusta sekä sisälsi eniten humusta. Aurauksen palle oli kaikkina mittausvuosina lämpimin kasvualusta (taulukko 2). Aurauksen piennar oli keskimäärin 100 d.h./24 palletta kylmempi. Täysmuokkauksen mätäs oli lähes yhtä lämmin kuin palle, mutta mättäiden välipaikat olivat selvästi kylmempiä kuin aurauksen piennar. Laikku oli kylmin kasvualusta. Ero aurauksen palteeseen oli keskimäärin 160 d.h./24.

Alkukesän kuivan ja lämpimän kauden aikana maa kuivui palteessa nopeasti, mutta laikuissa ja pientareessa hitaasti (taulukko 5). Palteessa vesitila putosi pitkäksi ajaksi alle 10 % ja alimmillaan 9. heinäkuuta se oli vain 2,6 %. Aurauksen piennar pysyi kuivanakin kautena kosteana. Vesitila ei laskenut koko kesänä alle 13 %. Laikuissa ja täysmuokkauksessa vesitila oli pienimmillään 9—10 %.

Elokuussa alkaneiden sateiden jälkeen palle pysyi edelleen kuivimpana kasvupaikkana ja piennar märimpänä. Ero pientareen ja laikun välillä oli vain runsaan prosenttiyksikön suuruinen. Syyskuussa erot eri käsittelyjen välillä tasoittuivat palteen vesitilan noustessa sateiden seurauksena yli 20 %:n.

Maan ilmatila ei koko kesän aikana laskenut laikutuksessa ja täysmuokkauksessa alle 20 %:n (kuva 3). Suurimmillaan se oli keskikesällä n. 40 %. Aurauksen pientareessa ilmatila oli kesäkuussa ajoittain 10 %:n tienoilla eikä se kuivimpanakaan ajankohtana noussut yli 20 %:n. Maa olikin pientareessa varsin tiivistä (vrt. taulukko 4), joten huokostila oli pieni. Syksyn sateiden seurauksena ilmatila pientareessa putosi jopa alle 10 %:n. Aurauksen palteessa ilmatila oli koko kasvukauden yli 40 %. Kuivimpana kautena se oli jopa 50—60 %. Aurauksen palle läpäisi vettä parhaiten (taulukko 6). Ensimmäisellä mittauskerralla maa läpäisi vettä huonoimmin laikuissa ja toisella kerralla aurauksen pientareessa. Täysmuokkauksessa maa oli helpommin vettä läpäisevää kuin laikuissa ja pientareessa. Samoin maa läpäisi ilmaa helpoimmin aurauksen palteessa (taulukko 6). Heikoimmin maa läpäisi ilmaa pientareessa ja laikuissa. Maan ilmanläpäisevyys oli täysmuokkauksessa selvästi suurempi kuin laikuissa ja pientareessa, mutta pienempi kuin palteessa.

Kolmen maastokasvukauden aikana taimista oli kuollut vain vähäinen osa. Selviä eroja eri maan käsittelyjen tai lannoitustasojen välillä ei ollut (taulukko 7). Kaikilla kalkitustasoilla olivat maan käsittelytapojen väliset erot taimien kuntoluokituksessa samansuuntaisia: hyväkuntoisimmat taimet kasvoivat palteessa, seuraavana oli piennar, sitten täysmuokkaus ja heikkokuntoisimmat taimet kasvoivat laikuissa. Sama yleissuunta oli nähtävissä fosforilannoitusruuduissakin (kuva 4).

Maan käsittelyjen välillä erot taimien pituudessa ja pituuskasvussa olivat selvät (taulukko 8). Aurauksen palteessa kasvaneet taimet olivat pidempiä kuin täysmuokkauksessa tai laikuissa kasvaneet ja jonkin verran pidempiä kuin pientareessa kasvaneet taimet.

Laikuissa kasvaneiden taimien neulaset olivat lyhimmät (taulukko 9a ja 9b). Muiden käsittelyjen välillä ei ollut olennaisia eroja. Kalkitusruuduilla neulaset olivat pisimpiä aurauksen pientareessa ja palteessa, fosforilannoitusruuduissa täysmuokkauksessa ja aurauksen pientareessa. Neulasten kuivapainon osalta tulokset olivat muuten samanlaisia kuin neulasten pituudenkin osalta paitsi, että aurauksen palteessa neulasten kuivapaino oli huomattavasti suurempi kuin muissa käsittelyissä kasvaneissa taimissa (taulukko 10).

Yleensä kalkituksella ja fosforilannoituksella ei ollut selvää vaikutusta taimen verson kehitykseen eikä neulasten typpi-, fosfori-, kalium- tai kalsiumpitoisuuteen. Myöskään maan käsittelyllä ei näyttänyt olleen kolmen kasvukauden jälkeen selvää vaikutusta neulasten ravinnepitoisuuteen (kuva 5).

Laikutuksessa kasvaneiden taimien juurenniska oli ohuempi kuin muissa käsittelyissä kasvaneissa taimissa (taulukko 10). Muiden käsittelyjen välillä ei ollut olennaisia eroja. Maan käsittelyllä oli voimakas vaikutus taimien verson kuivapainoon ja luonnollisesti samalla tavalla kuin taimien pituuteenkin (taulukko 11).

Aurauksen palteessa kasvaneet taimet olivat muodostaneet eniten päätesilmuja eli keskimäärin 6,3 kappaletta tainta kohti (taulukko 12). Vähiten päätesilmuja oli laikuissa kasvaneilla taimilla.

Verson kapenemisessa ei maan käsittelyjen välillä ollut eroja. Kaikissa taimissa oli yleisesti tyvisilmuja (taulukko 12). Niiden määrä (n. 12 kpl/taimi) ei olennaisesti poikennut eri käsittelyjen välillä.

Kalkitus samoin kuin fosforilannoituskin lisäsivät jonkin verran terveiden taimien osuutta ja pienensivät samalla latvavaurioista kärsineiden taimien osuutta (taulukko 13). Terveiden taimien osuus oli suurin palteessa kasvaneilla taimilla ja pienin täysmuokkauksessa ja pientareessa kasvaneilla taimilla. Terveiden taimien määrä vaihteli n. 30 %:sta 50 %:iin. Latvavaurioiden osuus taas vaihteli keskimäärin 40—60 % välillä. Hyönteisvaurioiden osuus oli suurin pientareessa ja laikuissa kasvaneissa taimissa (keskim. 6—8 %). Lumivaurioiden osuus oli samaa suuruusluokkaa ja suurin laikuissa ja täysmuokkauksessa kasvaneilla taimilla. Tyypillisestä lumen vaurioittamasta pientareessa kasvaneesta taimesta esitetään esimerkkinä kuva 6.

Kalkituksella ja fosforilannoituksella ei ollut vaikutusta juuriston kuivapainoon (taulukko 11) tai muotoon (taulukko 14). Sen sijaan maan käsittelyllä oli vaikutusta juuristoon. Aurauksen palteessa kasvaneiden taimien juuriston kuivapaino oli suurempi kuin muissa maan käsittelyissä. Pääosa taimien juuristoista oli pahasti epämuotoisia, ja niitä voitiin luonnehtia ilmauksella litistynyt, toispuolinen ja sykkyräinen. Laikuissa kasvaneista taimista kuului tähän ryhmään suurin osa eli 74,4 %. Ryhmän osuus oli pienempi täysmuokkauksessa ja aurauksen pientareessa ja selvästi pienempi aurauksen palteessa kasvaneissa taimissa, jossa tähän ryhmään kuului keskimäärin alle 40 % taimista. Palteessa taimien juuristot olivat parhaiten toipuneet kourukuokkaistutuksen aiheuttamasta yksipuolisesta suuntautumisesta (taulukko 14). Osasyynä oli luonnollisesti myös se seikka, että kuohkeaan palteeseen voidaan istutustyö tehdä huolellisemmin kuin esim. laikkuun tai pientareeseen.

Kalkitus vaikutti selvimmin aurauksen palteessa kasvaneiden taimien pääjuuren kehitykseen lisäämällä sellaisten taimien lukumäärää, joilla pääjuuri oli uudelleen muodostunut, 8,3 %:sta 29,1 %:iin. Fosforilannoituksella ei ollut vaikutusta pääjuuren kehitykseen. Suurimmalla osalla taimista ei ollut kangasmailla luontaisesti syntyneille männyille luonteenomaista pääjuurta. Joillakin taimilla oli aikaisemmin muussa asemassa ollut juuri muodostunut pääjuureksi. Tällaisia uudelleen muodostuneita pääjuuria todettiin eniten palteessa ja vähiten laikuissa kasvaneiden taimien juuristoissa.

Laikuissa ja aurauksen palteessa taimien juuristoissa n. 50 %:lla oli kohtalaisesti tai runsaasti mykoritsoja (kuva 7). Täysmuokkauksessa kasvaneilla taimilla erittäin vähämykoritsaisia juuristoja oli vain n. 4 %. Aurauksen palteessa niitä oli 20 % ja aurauksen pientareessa ja laikuissa n. 10 %.

Laikuissa kasvaneiden taimien juuristo oli matalin (taulukko 15). Hieman syvemmälle ulottui taimien juuristo aurauksen pientareessa ja täysmuokkauksessa. Aurauksen palteessa taimien juuristo oli syvin ja se ulottui keskimäärin 4 cm syvemmälle kuin laikuissa.

Juuriston tiheys vaihteli huomattavasti eri käsittelyjen välillä (taulukko 15). Laikuissa kasvaneiden taimien juuristo oli tihein ja lähes yhtä tiheä se oli täysmuokkauksessa. Aurauksen palteessa ja pientareessa juuristot olivat huomattavasti edellisiä harvempia, mutta keskenään ne olivat yhtä tiheitä. Laikuissa versojuurisuhde oli pienin ja aurauksen pientareessa suurin (taulukko 15).

Mitatut luonnontaimet olivat iältään keskimäärin 5,2 vuotta (taulukko 16), mikä vastasi hyvin istutustaimien ikää. Kuntoluokkajakautuma vaihteli suurin piirtein istutustaimien keskimääräistä jakautumaa. Luonnontaimista oli erittäin huonokuntoisia 6,3 %, huonokuntoisia 12,5 %, keskinkertaisesti kasvaneita 27,1 %, normaalisti kehittyneitä 22,9 % ja hyviä taimia 20,8 %, mikä on selvästi enemmän kuin istutustaimien vastaava arvo. Latvavaurioita ei luonnontaimissa tavattu lainkaan. Luonnontaimet olivat selvästi terveempiä kuin istutustaimet.

Luonnontaimien neulaset olivat lähes kaksi kertaa lyhyempiä kuin istutustaimien, neulasmassan kuivapainossa ei sen sijaan ollut suurta eroa. Luonnontaimien neulasten typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuus oli alhaisempi, mutta kalsiumpitoisuus korkeampi kuin istutustaimien.

Päätesilmuja luonnontaimilla oli sama määrä kuin laikuissa kasvaneilla istutustaimilla ja juurenniska oli hieman paksumpi. Verson kapeneminen oli luonnontaimilla nopeampaa kuin istutustaimilla, joilla verso oli lähes tasapaksu 5 cm korkeudelle asti. Tyvisilmujen lukumäärä oli luonnontaimilla istutustaimien tyvisilmujen lukumäärää selvästi pienempi. Verson kuivapaino oli samaa suuruus-

luokkaa kuin täysmuokkauksessa kasvaneilla istutustaimilla, siis suurempi kuin laikuissa kasvaneilla, mutta pienempi kuin palteessa kasvaneilla istutustaimilla.

Luonnon- ja istutustaimien juuristot poikkesivat selvästi toisistaan. Noin 94 % luonnontaimien juuristoista luokiteltiin normaalisti kehittyneiksi ja loput eli 6 % epämuotoisiksi, kun parhaiten kehittyneillä eli palteessa kasvaneilla istutustaimilla normaalisti kehittyneiksi luokiteltiin vain 2,1 %. Suurimmalla osalla luonnontaimista (77,1 %) oli myös normaalisti kehittynyt pääjuuri. Epämuodostunut pääjuuri oli 20,8 %:lla taimista. Vain 2,1 %:lla luonnontaimista ei ollut pääjuurta lainkaan, kun vastaava luku esim. laikuissa kasvaneilla istutustaimilla oli 97 %. Luonnontaimien juuriston syvyys oli huomattavasti suurempi ja juuriston tiheys pienempi kuin istutustaimien. Mykoritsoja luonnontaimilla oli selvästi vähemmän kuin istutustaimilla.

TULOSTEN TARKASTELU

Maa oli kuohkeinta ja helpoimmin ilmaa ja vettä läpäisevää aurauksen palteessa. Vastaavasti myös maan ilmatila ja humuspitoisuus olivat palteessa suurimmat. Laikuissa ja aurauksen pientareessa maa oli tiivistä, sisälsi vähän humusta ja näin ollen sen huokostila oli pieni. Myös maan veden- ja ilmanläpäisevyys oli laikuissa ja varsinkin pientareessa heikkoa. Pientareesta olikin kuorittu auralla löyhin ja humuspitoisin kerros pois. Lämpimin viljelykohta oli palle ja kylmin laikku. Täysmuokkauksessa mättäiden väli vastasi laikkua ja mätäs lähes palletta. Palteen haitallinen liika lämpeneminen ei Pohjois-Suomessa liene todennäköistä, mihin viittaa taimien hyvä menestyminen palteessa.

Palle oli koko kesän varsin kuiva kasvualusta. Vesitila putosi kuivimpana kautena 4—5 %:iin 5 cm:n syvyydessä. Liika kuivuus saattaa tulla haitalliseksi taimien kehitykselle ohuissa ja painumattomissa palteissa. Tässä kokeessa palteet olivat keskimäärin 25,3 cm:n paksuisia. Aurauksen pientareessa maan vesitila oli huomattavasti suurempi kuin palteessa. Pientareessa ja myös laikussa muodostuukin ongelmaksi usein maan liika kosteus. On ilmeistä, että tasaisilla, hienoja lajitteita runsaasti sisältävällä ja yleensä veden vaivaamalla maalla pientareeseen istutetut taimet kärsivät liian veden vuoksi hapen puutteesta. Tällaisilla mailla parhaat tulokset saadaankin kohoutumille viljelystä. Koekentällä rinteen viettävyys oli suurimmalla osalla aluetta niin suuri, että aurausruuduilla vesi kulkeutui kaltevuuden suuntaisia aurausvakoja pitkin pois ja suhteellisen kuivana kesänä 1973 vesi ei näyttänyt kertyvän laikkuihinkaan.

Taimet olivat kasvaneet kolme kasvukautta maastossa, joten taimiston voidaan katsoa olevan vakiintunut istutuksen aiheuttamista välittömistä vaurioista. Taimien kuolleisuus oli pieni eikä olennaisia eroja ollut eri maan käsittelyjen välillä. Pientareessa kasvaneet taimet olivat jonkin verran heikommin kehittyneitä kuin palteessa kasvaneet. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että taimet pientareessa oli istutettu lähelle palletta, missä kasvuolot ovat paremmat kuin lähempänä vakoa. Taimien juuret kasvavatkin herkästi palteeseen. Huonokuntoisimmat taimet kasvoivat laikuissa, missä maa on tiivistä, kylmää ja märkää, ja maan ilmanvaihto on heikkoa. Täysmuokkauksessa taimet olivat lähes yhtä hyvin kehittyneitä kuin aurauksen pientareessa. Vastaavat erot esiintyivät myös muissa mitatuissa taimitunnuksissa.

Neulasten pituuden, päätesilmujen lukumäärän sekä seuraavan vuoden kasvun välillä on todettu kiinteä riippuvuus. Näin ollen on odotettavissa, että erityisesti palteessa, mutta myös pientareessa ja täysmuokkauksessa taimien kehitys jatkuu nopeana, mutta laikuissa taimien kehitys tulee jatkumaan muita taimia heikompana. Myös taimien kuntoluokkajakautuma antoi samansuuntaisen käsityksen.

Pohjois-Suomen ja Neuvostoliiton pohjoisosien uudistusaloilla pahimpina pidettyjä tuhonaiheuttajia, lumikaristetta ja männynversosyöpää ei inventointivaiheessa todettu. Jonkin verran oli hyönteistuhoja, jotka olivat pääasiassa tukkimiehentäin aiheuttamia. Aurausaloilla varsinkin kylvötaimien, mutta myös istutustaimien, vakavana uhkana pidetyn roudan ja rousteen tuhot olivat vähäisiä.

Istutustaimien juuristot olivat pahasti epämuotoisia, mitä osoittaa myös pääjuuren puuttuminen. Syynä oli kourukuokkaistutus, jossa juuret joutuvat usein yhteen litistyneiksi ja sykkyräisiksi sekä

viistoon asentoon. Maan käsittelyllä aikaansaatu maan fysikaalisten ominaisuuksien parantuminen sekä viljelytyön helpottaminen näkyi selvästi juuriston kehityksessä. Laikuissa, missä vallitsivat kylmät ja kosteat olosuhteet, juuristo oli tiheä, litteä, matala ja kehittymätön eikä ollut muuttunut lainkaan istutuksen jäljiltä. Palteessa, jossa olosuhteet olivat edullisemmat, juuristo oli kehittynyt voimakkaasti ja istutuksessa tapahtuneet vauriot olivat alkaneet korjaantua. Kuitenkin keskusjuuristo oli vielä sykkyräinen. Myös pientareessa ja täysmuokkauksessa kasvaneiden taimien juuriston toipuminen oli alkanut, mutta se ei ollut ehtinyt yhtä pitkälle kuin palteessa. Pientareessa juuristo ei ollut kasvanut istutuksen jälkeen syvyyssuuntaan ilmeisesti tiiviin ja märän maan vuoksi. Luonnontaimiin verrattuna istutustaimien juuristo oli suppea ja tiheä. Esim. juuriston tiheysarvo oli luonnontaimilla yli kymmenen kertaa pienempi kuin istutustaimilla.

Tässä kokeessa ei kalkituksella eikä fosforilannoituksella ollut olennaista vaikutusta taimien kehitykseen. Kalkitus näytti edistäneen jonkin verran pääjuuren muodostumista palteessa. Ilmeisesti lannoitus ei vielä ollut ehtinyt vaikuttaa, ja määräävinä tekijöinä olivat maan fysikaaliset ominaisuudet.

Vaikka koetaimien kasvuaika ja maan fysikaalisten ominaisuuksien mittaus sattui ilmastollisesti keskimääräistä lämpimämpään ja osittain myös kuivempaan jaksoon, voidaan todeta, että tutkitun paksusammaltyypin maalla aurauksen palle on edullisin kasvupaikka jo taimien alkukehityksen kannalta ja on todennäköistä, että erot muihin käsittelyihin tulevat myöhemmin suurenemaan. Edellytyksenä luonnollisesti on, että palle sisältää riittävästi kivennäismaata ja on painunut tiiviisti perusmaata vasten.

ODC
23
232.216

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 91.4
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 91.4

REFORESTATION OF PLOUGHED SITES IN FINNISH LAPLAND

ELJAS POHTILA

Seloste

AURATTUJEN ALUEIDEN METSÄNVILJELY LAPISSA

HELSINKI 1977

ODC 23-232.216
ISBN 951-40-0261-X
ISSN 0026-1610

POHTILA, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (4): 1—100.

The objective of this study was to elucidate the basic factors affecting success of reforestation and initial development of seedlings on ploughed sites in Lapland.

Ploughing, as compared to scalping or prescribed burning and scalping, increased the temperature of the soil and air close to the ground, success of reforestation, and seedling growth during the growing season. Ploughing also had negative effects on sowing, apparently due to the more extreme environmental conditions. On ploughed areas a sparse nurse crop somewhat increased success of planting but reduced seedling growth.

On an average, sowing was more successful the longer the time lapse was between ploughing and sowing. The shortest growing season, after which the result of sowing became markedly poorer, was 500 d.d. When lifting, transport to the planting area and planting of the seedlings formed a continuous operation, the differences in success of planting at various dates were relatively small. Growth of the seedlings was, however, always smaller the later reforestation was done.

In general, reforestation was more successful on the shoulder than on the tilt. By combining the most successful seedling populations from both shoulder and tilt the end result was always better than on either of the microprofiles separately. Sowing with Scots pine, as compared to planting, was more successful than sowing with Norway spruce. Shelter sowing was more successful than band sowing in the patch. Planting of balled seedlings was in general more successful than planting of bare-rooted seedlings.

The following had negative effects as sources of variation for the result of reforestation: northerly location, elevation, colder climate and increased humidity. Species composition of the previous crop had a positive effect; admixture of birch and, especially, spruce dominance improved the results.

Tutkimuksessa selviteltiin aurattujen alueiden metsänviljelyongelmia. Aurauksen havaittiin laikutukseen tai kulotukseen ja laikutukseen verrattuna kohottavan kasvukauden aikaisia maan ja maanläheisen ilman lämpötiloja, parantavan yleensä viljelyn onnistumista ja lisäävän taimien kasvua. Kylvössä aurauksella todettiin myös negatiivisia vaikutuksia, jotka ilmeisesti kytkeytyivät olosuhteiden äärevöitymiseen. Lievä verhopuusto paransi havaittavasti viljelyn onnistumista auratulla alustalla, mutta vähensi taimien kasvua.

Kylvö onnistui keskimäärin sitä paremmin, mitä pitempi oli aurauksen ja kylvön välinen aika, muutoin aurausjäljen tekeytymisen vaikutus jäi epäselväksi. Lyhin kasvukausi viljelystä talven tuloon, jonka jälkeen viljelyn tulos ratkaisevasti huononi oli lämpösummaltaan 500 d.d. Kun taimien nosto, kuljetus uudistusalalle ja istutus olivat toisiaan välittömästi seuraava ketju, erot istutuksen onnistumisessa kasvukauden eri ajankohtina olivat suhteellisen pieniä. Taimien kasvu oli kuitenkin aina sitä pienempi, mitä myöhemmin viljely tehtiin.

Yleensä viljely onnistui aurauspientareessa paremmin kuin -palteessa. Yhdistämällä pientareesta ja palteesta parhaiten menestynyt taimijoukko saatiin aina parempi lopputulos kuin kummastakin pienmuodosta erikseen. Männyllä kylvö onnistui istutukseen verrattuna suhteellisesti paremmin kuin kuusella, suojakylvö paremmin kuin vakoruutukylvö. Istutus paakkutaimilla onnistui yleensä paremmin kuin paljasjuurisilla.

Viljelytulosten vaihtelusta auratuilla alueilla voitiin erottaa pohjoisuuden, alueen korkeuden, ilmaston kylmenemisen ja humidisuuden lisääntymisen myötä tapahtuva tulosten huononeminen sekä entisen metsän koivusekoituksen ja vielä selvemmin kuusivaltaisuuden myötä tapahtuva tulosten paraneminen.

Valtion painatuskeskus/Arvi A. Karisto Oy 1977

PREFACE

The following presentation is based on a relatively longterm series of reforestation studies. The oldest experiments were established in 1967—1970 in co-operation with the Regional Forestry Board of Northeastern Finland, the Jointly Owned Forest of Salla, and the University of Helsinki. I personally planned and managed all experiments presented here. Professor Paavo **Yli-Vakkuri,** introduced me to the techniques of reforestation experiment. During my work he gave much advice and guidance. In planning the first experiments I received valuable help from Dr. Matti **Leikola** and Mr. Pentti **Räsänen.** In the practical matters of establishing the first experiments I received help from Messrs. Markku **Kiikka,** Aarne **Hankala** and Veikko **Vuontisjärvi.** Messrs. Ahti **Äikäs,** Jorma **Koivurinne,** Veli-Mikko **Penttinen,** Simo **Kaila** and Matti **Pohjolainen** supervised the experimental reforestation work, made ecological recordings, and took inventories of seedlings. To conduct these experiments I received a personal grant from Metsätalouden edistämisrahasto (Foundation for Promoting Forestry).

The reforestation experiment included in the program of the Finnish Forest Research Institute were drafted in 1969 in the group of research workers formed by the late Professor Risto **Sarvas.** I was allowed to participate in the work of this group from its very beginning. In addition to Professor **Sarvas,** Dr. **Leikola,** Messrs. Jyrki **Raulo** and Jukka **Valtanen** also participated actively in drafting these experiments. Mr. Tapani **Pohjola** has done a commendable job in supervising the establishment of the experiments. The State Board of Forestry has on its land covered all the costs of operations regarded as normal reforestation costs. When compiling a single publication for this series of reforestation experiments, I received professional criticism from Professor **Yli-Vakkuri,** Drs. **Leikola** and Eino **Mälkönen,** and Drs. Pentti **Roiko-Jokela** and Kim von **Weissenberg.**

The latter, together with his wife Dr. Joann von **Weissenberg,** translated the manuscript from Finnish to English. The Drs. von **Weissenbergs'** insights into scientific writing have been especially valuable. The manuscript was read by Dr. Pekka **Kilkki,** who made suggestions given due consideration.

I thank all for the help I have received.

Rovaniemi 1976

Eljas Pohtila

CONTENTS

Page

ABBREVIATIONS AND SYMBOLS 5

1. INTRODUCTION 7
   11. Natural conditions in Finnish Lapland 7
   12. Forest composition and productivity 9
   13. Developments leading to increased ploughing 13
   14. Definition of the problems to be studied 16

2. MATERIALS AND METHODS 19
   21. Research areas 19
   22. Seed and nursery stock 21
   23. Experimental reforestations 24
   24. Seedling inventories and ecological measurements 27
   25. Weather conditions 28
   26. Treatment of data 29

3. EFFECT OF PLOUGHING 32
   31. Effect of ploughing and prescribed burning on environment of seedlings 32
   Results of ecological measurements 32
   Discussion 38
   32. Effect of ploughing and prescribed burning on success of reforestation and early growth of seedlings 40
   Results of experimental reforestations 40
   Discussion 47
   33. Effect of ploughing and nurse crop on success of reforestation and early growth of seedlings 49
   Results of experimental reforestations 49
   Discussion 52

4. TIMING OF REFORESTATION 54
   41. Effect of time between ploughing and reforestation on success of reforestation 54
   Results of experimental reforestations 54
   Discussion 56
   42. Effect of date-of-reforestation during the growing season on success of reforestation and early growth of seedlings 57
   Results of experimental reforestations 57
   Discussion 61

5. METHOD OF REFORESTATION 63
   51. Sowing or planting point on ploughed sites 63
   Results of experimental reforestations 63
   Discussion 69
   52. Comparison of sowing and planting methods 71
   Results of experimental reforestations 71
   Discussion 75

6. COMPLEMENTARY ANALYSES OF CAUSAL RELATIONS 78
   Results of analyses 78
   Discussion 82

7. SUMMARY 85

REFERENCES 88

SELOSTE 97

APPENDICES 99

ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

Forest site types (**Cajander** 1926)

ECT = *Empetrum* — *Calluna* — Type
EMT = *Empetrum* — *Myrtillus* — Type
ErCIT = *Ericaceae* — *Cladina* — Type
EVT = *Empetrum* — *Vaccinium* — Type
GDT = *Geranium* — *Dryopteris* — Type
HMT = *Hylocomium* — *Myrtillus* — Type
KgK = Spruce swamp with shallow peat layer
KR = Spruce-pine swamp
MT = *Myrtillus* — Type
VMT = *Vaccinium* — *Myrtillus* — Type

Containers for nursery stock

Fh 408 = Paper pot, Forest hexagon, diameter 4 cm height 8 cm
FP 620 = Peat pot, Finn pot, long type (6), 5 cm on the side

Types of nursery stock

2A + 1A = Three-year-old bare-rooted seedling raised 2 years on open land, transplanted in the spring to open land raised there for one growing season. In this study the term seedling includes all types of nursery and planting stock as well as young trees (< 5 years old) in general. Germling is used for a newly sprouted seedling in the field.

1M + 1A = Two-year-old bare-rooted seedling raised one year in plastic greenhouse, transplanted in the spring to open land and raised there for one growing season.

1M + 1M + 1A = Three-year-old bare-rooted seedling raised 2 growing seasons in plastic greenhouse and one growing season on open land. Transplanted twice.

1M + 1Ar	= Two-year-old seedling raised one growing season in greenhouse, transplanted in the spring to a plastic roll and raised there for one growing season (cf. **Low** and **Brown** 1972).
1M + 1 (Ar + Ar)	= Two-year-old seedling raised one growing season in plastic greenhouse, transplanted twice to plastic rolls and raised there a total of one growing season on open land.
1Mk	= Seedling raised in a paper pot in plastic greenhouse for one growing season.
1Mt	= Seedling raised in a peat pot in plastic greenhouse for one growing season.
1M + 1Mt	= Two-year-old seedling raised in plastic greenhouse one growing season, transplanted to a peat pot and raised there one growing season in plastic greenhouse.
1/2Mk + 1/2M	= One-year-old bare-rooted seedling raised for half the growing season in a peat pot in greenhouse, transplanted and raised for the rest of the season in plastic greenhouse.

d.d.	= degree days, threshold value +5° C (**Sarvas** 1970).
$\bar{h}$	= mean height
HSD	= »honestly significant difference».
P	= probability (risk level)
r	= correlation coefficient
URN	= Universal Reference Number according to **Ford-Robertson** (1971)
»	= replication
—	= magnitude nil
0	= magnitude less than half of unit employed
..	= lacking data
*	= hypothesis H_0 discarded with a probability of 5 %
**	= » » » » » 1 %
***	= » » » » » 0,1 %

1. INTRODUCTION

11. Natural conditions in Finnish Lapland

In Finnish Lapland, which generally is considered to consist of the Province of Lapland, the northerly location (66°—70° N) is the dominant factor affecting natural conditions. The sun always shines from a low position, even in midsummer only at an angle of about 45°. This oblique insolation loses much of its effect when it penetrates the atmosphere. The atmosphere absorbs about 20 % of the effect of perpendicular insolation and about 50 % of insolation at a 45° angle (**Lunelund** 1935a,b). The smaller the angle of insolation, the larger is the surface on which it is distributed, i.e., the smaller the amount of insolation on a certain area. The special seasonal variation of insolation in Lapland is well known; the summer is light, and the winter is dark.

The climate of Lapland is severe; but the close proximity of the Gulf Stream, the wind protection by the Scandinavian Ridge, the warm air brought by the frequent south-westerly winds and also, in some parts of Lapland, the favourable exposures of slopes make Lapland milder than areas in Siberia, Alaska and Canada at the same latitude. The annual mean temperature ranges from —1° to +2° C (**Kolkki** 1966, 1969), the mean temperature for July ranges from +14° to +16° C and for February from —13° to —10° C. The thermal growing season, i.e., the time during which the daily mean temperature exceeds +5° C, is 120—145 days; and the average number of degree days with the same threshold value is 500—900 d.d. The coniferous timber line approximately follows the isogram of 550 d.d. Annual precipitation ranges from 400—500 mm. Of the precipitation, 40—50 % is snow. The lasting snow usually arrives in Lapland between October 25 and Nowember 20 and disappears again between May 5 and 25. Due to the low temperatures, the normal climate of Lapland is generally very humid. Soil evaporation during the summer is usually less than the precipitation. Average evaporation somewhat exceeds precipitation only in June; but during this time, the soil still contains moisture from the melting snow and soil frost (**Solantie** 1974).

There are large local variations in the climate of Lapland due to the vastness of the area, the distance in north-south direction, and altitudinal variation. These local variations in weather are entirely comparable to the annual variations in weather within a location (Figure 1). Finnish Lapland

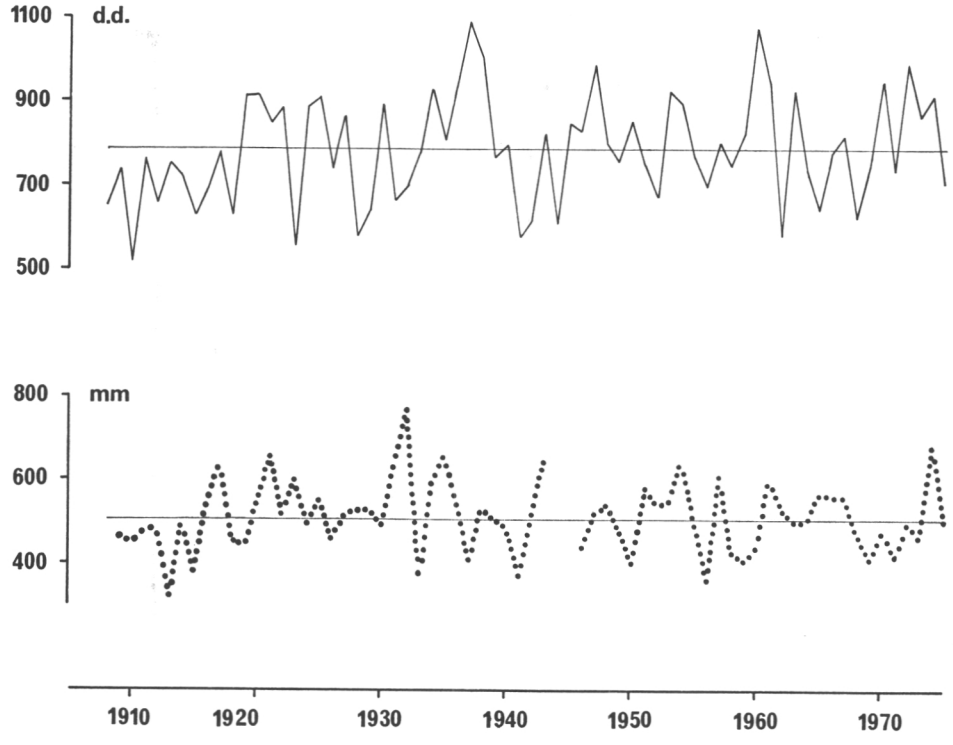


Figure 1. Number of degree days, threshold value +5°C, for the growing season and annual precipitation in Sodankylä (67° 22′ N, 26° 39′ E, elev. 178 m) since 1908.

is an area where many factors affecting the climate meet, and therefore the weather is continuously unstable. The annual variation in the climate and its effect on all biological production are among the most important characteristics of natural conditions in Lapland. There is also long-term cyclic variation in Lapland's climate (**Sirén** 1961).

Within Lapland there are areas with considerably different land formations. From the flat shores of the Gulf of Bothnia the land slowly rises toward the north and northeast. The most northerly part of Lapland, however, slopes down toward the Arctic Sea. The mountain tops at the divide in Saariselkä rise to about 700 m above sea level. In Lapland the general rule holds: increasing altitude is accompanied by increased altitudinal variation. Most of the land formations in Lapland are classified as hills

or mountain country where the altitudinal variation ranges from 20—200 m (**Aario** 1966, p. 55). On the best forest areas of Finland the average altitudinal variation is 10—50 m.

The bedrock of Lapland is very old (**Simonen** 1964). It was formed about 2 000 million years ago from deep rocks and schists formed during primeval eras of the earth. The major rocks of the formed group are granites and granodiorites. The schists are granitic gneiss and granulites. Soil fertility is increased by schistose mica and comparatively frequent alkaline species of rocks. In general, the bedrock of Lapland is clearly more fertile than Ostrobothnia which borders in the south and even more fertile than southern Finland (**Aaltonen** 1940, p. 28).

The soil covering the bedrock has been formed only during or after the last ice age. Because only 10 000—11 000 years have passed since the end of the ice age (**Sauramo** 1958, p. 44), the soil is much younger than the bedrock. Glacial soils, such as moraine and ridge gravel, form larger soil areas in Lapland than in other parts of Finland. This difference is due to the fact that Lapland has risen above sea level ever since the ice cover disappeared. The clays and silts from the bottom of the primeval Baltic occur very little, and on higher areas there are none of these. Stoneless silts and clays occur mainly in the river valleys. In some areas these occur at the formed bottoms of primeval lakes dammed at the edges of the glacier. The highest shoreline of the sea formed after the ice age is about 200 m above the present sea level. About half of the total area of Lapland is above 200 m.

Even if Lapland's soil is relatively young, the effect of leaching is clearly visible in the horizontal layers of the soil. Podsol is the most common soil type (**Aaltonen** 1933). The leaching is facilitated by the cold and humid climate. In this climate the decomposition of organic matter is slow and incomplete, and raw humus is accumulated. Half the area of Lapland is covered by a peat layer of varying thickness (**Ilvessalo** 1960, map 13).

12. Forest composition and productivity

The major part of Lapland belongs to the boreal, more precisely the northern-boreal, coniferous zone (**Ahti** et al. 1968). A barren and mountainous birch zone occurs only in northernmost Lapland. The forest in Lapland ranges farther north than in other polar areas of the world, except for continental central Siberia (**Hustich** 1952). The natural flora of Lapland is, however, remarkably sparse. This is especially true for the vascular plants and among these, particularly for trees and shrubs. The devastating effect of the ice age was greater in northern Europe than in Asia and North America. The east-west mountain ranges of Europe

formed barriers difficult for forest plants to bypass when retreating and advancing with the movement of the glacier. After the last glacier, during the so-called Würm ice age, the conifers, Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) migrated to Finland from the east where coniferous forests had remained with a greater number of species. According to the most recent research (**Birks** and **Saarnisto** 1975), Scots pine became common in Lapland some 8 000 years ago and Norway spruce some 4 000 years ago. Birch (*Betula pubescens* Ehrh. and *B. verrucosa* Ehrh.) is the oldest tree genus in Lapland and appeared soon after the ice age. Following the ice age came the so-called boreal era which was a relatively warm and dry period compared to the present one. At that time the whole of Lapland was covered with pine forests except for the very highest localities. As the climate has become progressively colder, other species have claimed areas from the pine; and in places they have even replaced pine. North of the Saariselkä Mountains (Figure 6), the so-called Forest-Lapland is almost exclusively an area of pine forests. This »regio subsilvatica» has evoked much interest since everywhere in northern Russia and Siberia spruce advances farther north than pine and forms the boreal timber line already on the peninsula of Kola. Single spruce trees also grow sparsely in Finnish Lapland about as far north as the boreal timber line of pine.

There are different opinions about the racial composition of the forests in Lapland. One very common opinion contends that for both trees and other plants the post-glacial migration is not yet completed, and therefore the limit of selection has not been reached. Thus the average adaptation of the species is poor at the timber line; but the marginal population, however, would contain variation of good adaptive value that could be used in silviculture. The newest research about pollen migration of conifers and the concomitant strong gene flow (**Koski** 1970, **Tigerstedt** 1973, 1974) provides reason to assume that there would have been sufficient time after the ice age for the populations to reach the limit of selection. It does not necessarily follow that the autochthonous races in Lapland would be well adapted to the environment where they grow endemically. At the margin of the species range adaptation may be poor due to the simple reason that all the adaptive genetic variation of the species is exhausted.

Sarvas (1970) regarded the length of the thermal growing season in Lapland to be the most crucial factor for adaptation. A demonstration of this is that viable pine seed is produced only during exceptionally warm summers. Based on his studies of flowering and seed crop, **Sarvas** suggested that the minimum requirement for a complete growing season of Scots pine is 950 degree days. Therefore, this important limit is rather southern (Figure 6). In nature, of course, there are no abrupt and conditionless limits but rather an asymptotic approach to a specific heritable adaptive limit.

Narrowly interpreted, **Sarvas'** theory applies only to the genetic adaptation of the active period of the trees. This period becomes progressively shorter towards the north. It has been remarked that adaptation to the photoperiod, late and early frosts, winter cold spells, snow blight, edaphic conditions, etc. may continue even at the marginal area of the population. The actual timber-line forests are also often regarded as a separate racial group. A completely general form of the theory of **Sarvas** has been tested by comparing the success of practical-scale reforestation with transfer of seed within the area north of the Pudasjärvi—Kajaani line (**Etholén** 1972). These provenances of the seed did not in the least explain failures of reforestation, and the hypothesis of 950 degree days as an important limit for Scots pine adaptation remained valid.

The forests of Lapland remained in their nearly natural state, untouched by man, until the beginning of this century. In the first inventory of Lapland's forests in 1922—23, 60 % of the forest land was classified as dominated by Scots pine, 30 % dominated by Norway spruce and 10 % dominated by pubescent or silver birch.

The study by **Ilvessalo** (1937) on the growth and development of the natural-normal forests of Lapland may be regarded as the foundation for forest management in these areas until the present time. Since Scots pine was clearly more productive than Norway spruce and pubescent or silver birch in these stands (Figure 2), Scots pine was the main species

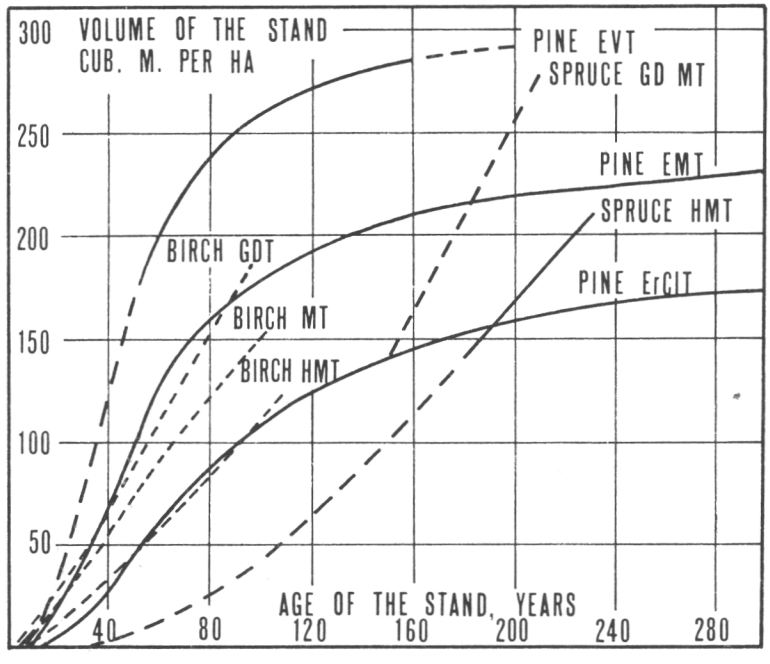


Figure 2. Development of the standing volume of natural-normal stands on Lapland's most common forest site types (**Ilvessalo** 1937).

to be grown there. Spruce stands, regenerated naturally after wild fires (**Sirén** 1955) or reforested artificially after clearcutting (**Pohtila** 1972a) on *Hylocomium-Myrtillus* site types, have grown more than the natural-normal spruce stands; but compared to the corresponding pine stands, they have grown much less.

The cause for the great difference in growth between Norway spruce and Scots pine in Lapland has not been indisputably demonstrated. The different growth rhythms during their life span do not give sufficient explanation for the difference. In nature the pine stands have adapted to wild fires. They are usually regenerated as evenly aged stands and therefore may possibly be able to utilize fully the natural fertility of the site. Spruce is seldom regenerated naturally into evenly aged stands. The multilayer canopy is always more uneven than in a pine stand. The old spruce stands of Lapland often form large, even compartments in the cool and humid climate of the land divides (**Heikinheimo** 1920a). With its branches reaching the ground, the spruce keeps the substrate constantly cool and reduces air exchange close to the ground, thereby increasing humidity in the stand. The snow layer is formed more slowly and remains uneven in a spruce stand; therefore the ground frost is deeper and melts more slowly than that in a pine stand (**Yli-Vakkuri** 1960).

It is well known that photosynthetic efficiency and optimum respiration occur at a lower temperature for spruce than for the so-called light-demanding species. This may be one reason for the dominance of Norway spruce on the plateaus of the land divides. Small particle size of the soil and soil air-exchange have been strongly emphasized in recent studies as factors affecting success of Scots pine and Norway spruce. It has been suggested that Norway spruce would be better adapted to grow on compressed soil with a small particle size (**Lähde** and **Siltanen** 1973, **Lähde** and **Mutka** 1974, **Lähde** 1974a). The spruce-covered areas in Lapland apparently have soils with a smaller average particle size (**Aaltonen** 1941a), but a comprehensive investigation of this still is lacking. The general opinion, that Norway spruce will tolerate damage by snow better than Scots pine, is not quite correct according to the studies by **Heikinheimo** (1920b, 1921). Snow causes more mechanical damage to pine than to spruce, but spruce is injured more by subsequent damage, i.a., caused by fungi (cf. **Tikka** 1940, 1947).

According to **Ilvessalo** (1937), birch has a rather poor ability to utilize the potential fertility of the site in Lapland (Figure 2). This applies particularly to pubescent birch but also to some extent for silver birch. The latter is demanding with regard to the site. Therefore it is seldom raised as a stand. Pubescent birch is not demanding and grows both as a bush and as a tree. When grown in a stand, the tree deteriorates already at a

very young age. This birch does not reach in a sound condition the size where volume growth really would begin.

Birch is regarded as an ecologically advantageous species. With respect to soil frost and snow conditions, birch stands may be compared best with pine stands (**Yli-Vakkuri** 1960). With its deep root system birch keeps the soil biologically active to a deeper horizon than the conifers (**Laitakari** 1935). Birch litter is also considered to be more nutritious and more easily decomposed than that of conifers (**Mikola** 1954, **Viro** 1955).

13. Developments leading to increased ploughing

The problems of regeneration in Lapland's forests have been studied rather extensively. Previously, it was regarded as self-evident that natural regeneration was the standard reforestation method and that silviculture should aim for this, using artificial reforestation only in exceptional cases where conditions were unfavourable for natural regeneration. **Renvall** (1912, 1919), who studied pine regeneration at the timber line during the beginning of the century as a climatic cold period was nearing its end, reached rather gloomy conclusions. Good seed crops of Scots pine seemed to occur only once in a hudred years, and the emerging sapling stands were in danger of perishing until the age of 60—70 years, first due to ground cover competition, later due to wild fires and grazing by reindeer. **Renvall** noted the poor root development of the saplings, their shallow position and consequent sensitivity to dessication. **Renvall** also conducted sowing experiments at the timber line and found that sowing was very successful where the humus layer was thin ($< 1{,}5$ cm); but where the humus layer was thick (> 2 cm), sowing gave poor results. He also found that wild fires usually improved conditions for seedling growth.

Renvall was regarded in Finland as the specialist on Lapland's forests, and his pessimistic views contributed to passing of the Act Concerning Protection Forests (Act 196/1922). Later studies justified a more optimistic viewpoint. **Lakari** (1915), who studied the seed crop and age-class distribution of pine stands on dry upland sites from Lake Oulu to Lake Inari, found that the conditions for regeneration had remained approximately unchanged for the last 300—400 years. He also found that regeneration had occurred on an average of every 10 years. According to **Lakari,** even stunted saplings were able to develop into trees forming stands. **Aaltonen** (1919) also studied natural regeneration of Lapland's pine stands very carefully, finding its slowness to be the only difficulty. According to studies by **Lassila** (1920), a new sapling stand on a clearcut opening of pine forest is formed in about 30 years, and regeneration takes place almost exclusively during rainy summers. According to **Sarvas** (1937) dryness

was the greatest hindrance to sapling stand formation on burned areas. Selection cutting is not as detrimental to regeneration of pine stands in Lapland as it is in southern Finland (**Sarvas** 1950). **Lehto** (1969) found that under a pine shelterwood the number of seedlings prior to reforestation felling was larger the farther north it was located. Also according to the most recent studies, regeneration occurs at the northern timber line much more frequently than was believed previously (**Hustich** 1948, **Mikola** 1952, **Sirén** 1961).

In management of Lapland's forests the most difficult problem has proven to be regeneration of old spruce stands, especially on the *Hylocomium-Myrtillus* site type. In natural conditions regeneration of these stands is very slow, as it also is in stands managed by cutting (**Heikinheimo** 1920a, 1922, 1939, **Sirén** 1955). It has not been considered wise to continue to manage such stands once their growth has ceased. In terms of productivity, spruce stands should, whenever possible, be converted to pine stands (**Ilvessalo** 1937). The first experiences from clear cutting and artificial pine reforestation were surprisingly good (**Heikinheimo** 1939). The scientific explanation of these results was believed to be found in the studies of **Sirén** (1955), were the *Hylocomium-Myrtillus* site type was regarded as a degenerated form of a fertile northern *Myrtillus* site type. The potential fertility of this degenerated site was essentially better than actually observed. To convert these stands to their previous fertile condition by means of clear cutting and artificial reforestation has been the main aim in all silvicultural programs in Lapland ever since (**Mikola** 1963). When utilization of wood increased, the view started to gain acceptance that in intensive, fully efficient forestry there is no possibility to wait for slow natural regeneration, but that fully productive, silviculturally excellent stands also should be artificially reforested. When prescribed burning and scalping had been adopted, then the solution to soil preparation problems also was considered to be found.

In the 1960's the possibilities for reforesting spruce stands had to be re-evaluated when severe damage occurred during the cold summers in artificially reforested sapling stands, which were regarded as already established (**Solin** 1970, **Valtanen** 1970, **Etholén** 1972). There was even talk about »absolute spruce sites» were it would be practically impossible to establish a fully stocked pine stand. Forest soil ploughing became common as a new method, since the damage was considered to be at least partly due to insufficient soil preparation. Development of ploughing methods in northern Finland had started in the 1950's on swampy sites where prescribed burning was not successful due to the wet soil and where scalping often resulted only in water holes (**Huikari** 1954, **Lyytinen** 1958). Ploughing proved to be a very reliable method which was not significantly hampered by the stoniness of the glacial till. In addition to creating spaces for the

planting stock, ploughing also facilitated the planting work considerably. Lately, ploughing has also been considered as a biologically necessary measure (**L ä h d e** 1973). All these factors together have caused ploughing to become an all-round method within a relatively short period. It has almost completely made other soil preparation methods obsolete (Figure 3). In recent years ploughing also has been used in connection with natural regeneration.

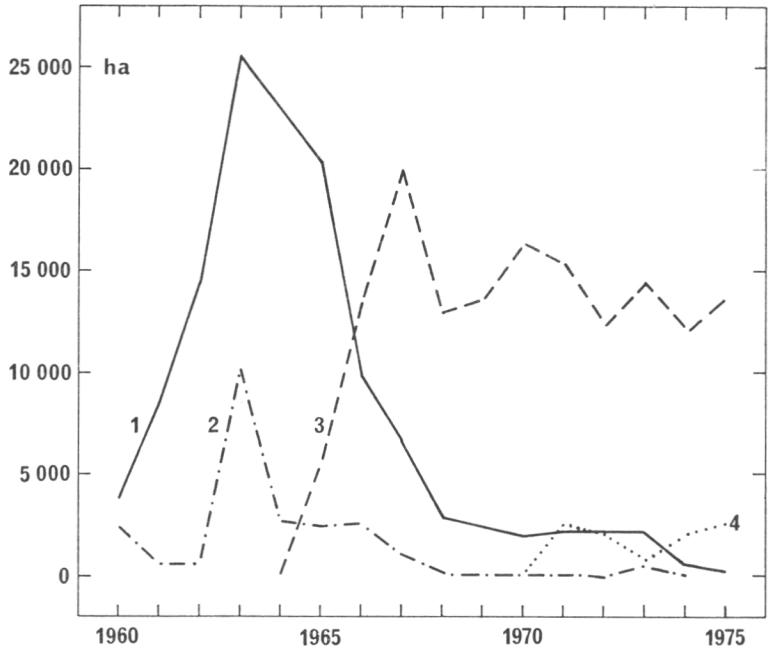


Figure 3. Soil treatments in Lapland since the beginning of the 1960's. 1 = scalping, 2 = prescribed burning, 3 = ploughing, 4 = disc ploughing.

Prescribed burning has now been almost completely discontinued. In addition to the failures that have occurred, the operational difficulties also have contributed to this development. Prescribed burning requires much manual labor compared to mechanized soil preparation and the results are very much dependent on the weather. Another possible reason for discontinuing prescribed burning was the occurrence of *Rhizina undulata* Fr., which attracted much attention as a pathogen on some burned areas (**L a i n e** 1968).

14. Definition of the problems to be studied

When ploughing became more common, a new situation was created, where the rich body of knowledge from previous research could not be applied directly. Development and application of ploughing methods have been based mainly on experience, and research has remained limited. Now there are several studies concerning the effect of ploughing on the environment of seedlings (e.g., **Mälkönen** 1972, **Leikola** 1974, **Kauppila** and **Lähde** 1975, **Söderström** 1974, 1975, **Voss-Lagerlund** 1976), but there are few studies comparing performance of seedlings (**Mälkönen** 1972, 1976, **Söderström** 1975, **Mutka** and **Lähde** 1977). Since reforestation of ploughed areas has been studied comparatively little, the scope of the entire phenomenon is largely unknown.

The objective of this study was to eludicate the basic factors affecting success of reforestation and initial development of seedlings on ploughed sites in Finnish Lapland. These factors are further elaborated on in the following:

According to general directives, areas suitable for ploughing are »waterlogged», »swampy» and »thick-humus» compartments. Depending on moistness of the site, either a shoulder plough or a tilt plough is usually recommended. In the first case reforestation is done on the shoulder of the furrows; in the latter case it is done on the tilt (Figure 5). No detailed studies have been made to determine which sites are actually ploughed. In the following study an attempt has been made, on the basis of relatively large experimental evidence, to gain an understanding of what variation occurs between sites ploughed during practical operations. The most important question about ploughing of forest sites, that on the effect of ploughing, has been elucidated by comparing ploughing to scalping and prescribed burning.

There is much uncertainty as to how a ploughed site should be reforested. The various microreliefs created by ploughing are very different substrates for the seedlings, and their value in reforestation may depend on the methods used. In general, four distinctly different microreliefs may be identified: furrow, shoulder, tilt, and the untreated level ground (Figures 4 and 5). In the following report the tilt and shoulder microprofiles have been compared since in a pilot study these had been the best ones for reforestation (**Pohtila** 1972b).

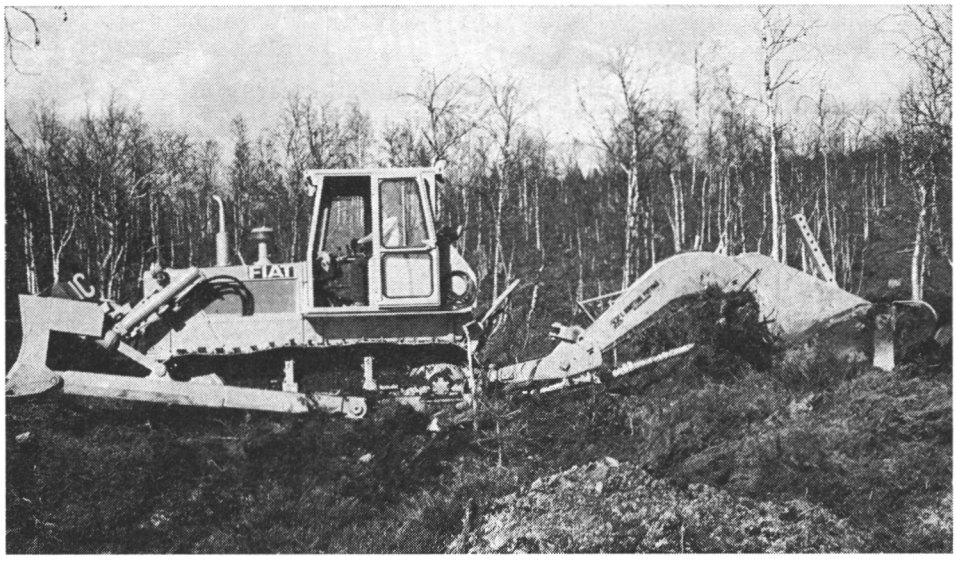


Figure 4. A ploughing unit in operation.

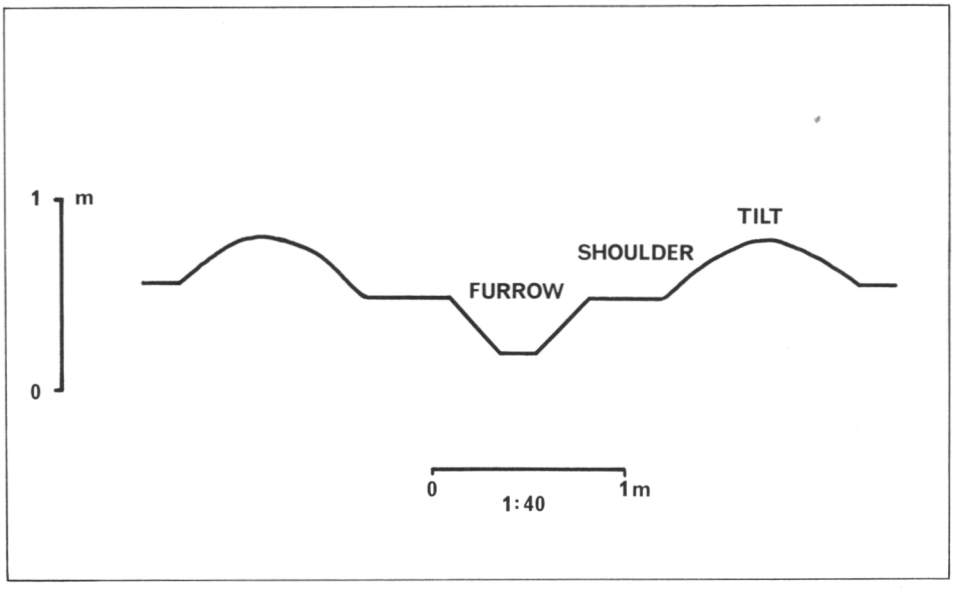


Figure 5. The average profile of the ploughed furrow on areas 11—21 and 34—42 when 2 years had passed since ploughing. From each area 4 randomly sampled, 20 m long plots on the ploughed strip were chosen. The profile was measured at 1 m intervals using a levelling instrument and a measuring rod.

Since the adoption of ploughing, attitudes towards clearing of the felling area have changed. Some have thought that on the ploughed strip there is so much space for the young trees to grow that clearing is not necessary. An opposing view has been that the trees remaining after clear cutting would protect the seedlings as a nurse crop. In the present study the nurse crop has been studied mainly with respect to its effect on success of reforestation. Success is defined here as emergence and persistence of seedlings in sowed patches, and alternatively, survival of planted seedlings (cf. **Yli-Vakkuri** et al. 1969).

The effect of time between ploughing and reforestation on the success of reforestation is a special problem on ploughed sites. In praxis the time lapse between ploughing and reforestation is usually one year, but for stabilization of the soil after disturbance an even longer time is considered to be desirable. The time lapse was studied only with respect to its effect on success of reforestation.

In addition, some general problems of reforestation, to which ploughing gives certain special features, were examined. One such problem is date-of-reforestation during the growing season. Also, sowing was compared to planting. Along with the production factors presented previously (Section 12), preliminary information was collected concerning the suitability of different tree species for reforestation in Lapland.

2. MATERIALS AND METHODS

21. Research Areas

This study is based on data from field experiment plots presented according to research areas in Appendix 1. The effect of ploughing and prescribed burning (areas 1—3) was studied on a low upland ridge typical for northeastern Finland (Figure 6) where swamps and waterlogged areas split the land into

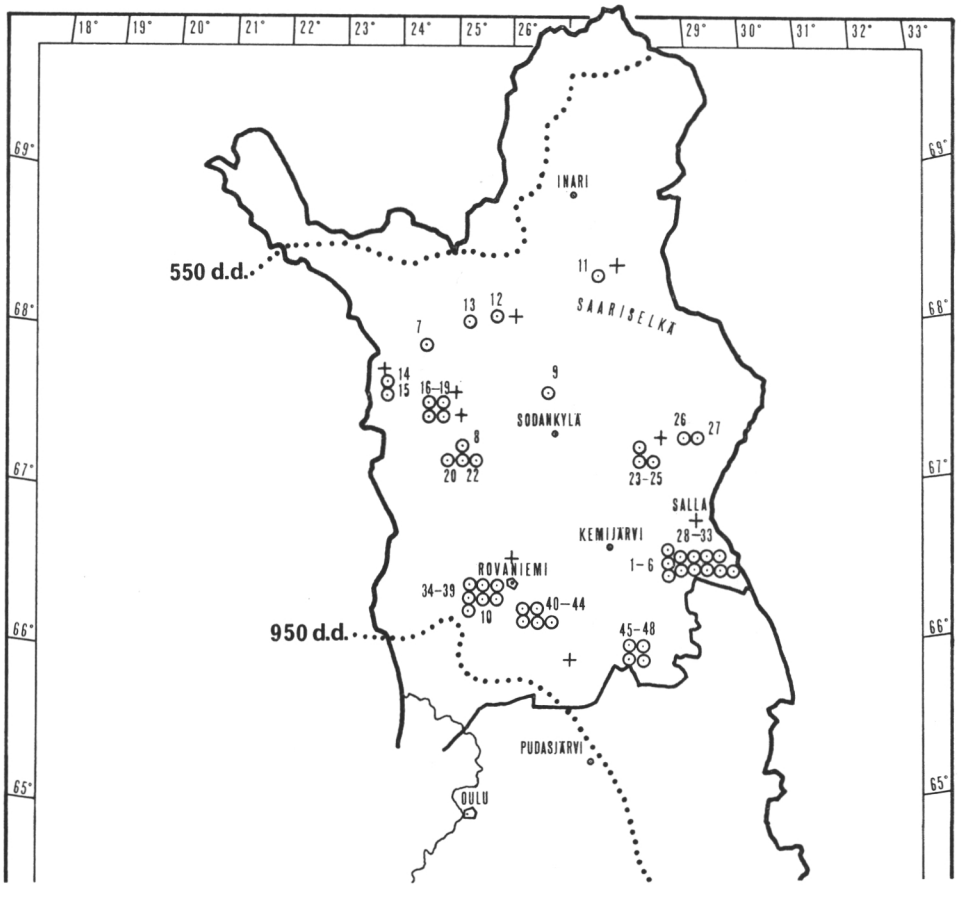


Figure 6. Location of research areas. The areas are indicated by circles, and the climate stations furnishing data for the study are indicated by crosses.

»islands». For Finnish conditions the region is relatively old geologically, supra-aquatic (**Sauramo** 1958, p. 397—412) with a humid climate (**Kujala** 1936). The forest site types of the compartments may be classified as intermediates between swampy *Empetrum-Myrtillus* and *Hylocomium-Myrtillus*. The proportion of pine in the previous forest had been relatively large. The humus layer was somewhat thinner than the average on moist upland sites, but thicker than on dry upland sites (**Aaltonen** 1940, p. 210). The thickness of the A-horizon corresponded to the average values for moist uplands presented by **Aaltonen.** On the swampy compartment (area 3) there were fewer fine particle-size fractions and on the stony area (area 2) more coarse particle-size fractions compared to other areas. The differences were, however, fairly small.

The thickness of the humus layer was measured from about 100 places on each area. Clods of humus were cut by knife around the edges of a 10 × 10 × 1 cm plywood frame. After the litter was remowed, their thicknesses were measured at a mark on the frame. The thicknesses of the horizons were measured from 12 holes dug along transects of the areas. Soil samples were taken from 0—30 cm depth. The coarser particle-size fractions were separeted by sieves, and the finer by pipetting during sedimentation (**Elonen** 1971). Stones were not included in the analysis. Stoniness was measured using the rod-testing method according to directions given by **Viro** (1952, 1958). Species composition of the previous forest was estimated from the stumps. Height above sea level was taken from topographic maps. The number of degree days was determined on the basis of elevation gradient calculated by **Järvi** (ref. **Heikurainen** 1973).

In the same region as the effect of ploughing and prescribed burning, the reforestation methods were also studied. These areas (areas 4—6) ploughed during practical operations were located on somewhat lower lands than the former.

The effect of ploughing combined with various nurse crops was studied on areas 7—9. These were all located very far north, close to the protection forests (Figure 6). They were clearly stonier, had more birch and a thinner humus layer compared to the other areas. Also, areas 10, 18 and 47 where the date-of-reforestation during the growing season was studied, were very stony; and the amount of spruce differed from the average.

The study areas were chosen subjectively, considering that the data would be evenly distributed over such sites where ploughing is done in practical operations. It is possible that these sites are not represented in the data in the actual proportions. Areas 11—48, where different methods of reforestation were compared, were chosen on the basis of a comparatively large set of statistics furnished by the State Board of Forestry. They represented areas to be ploughed in practical operations. Their site variation is rather large; and the elevations vary between 130—365 m, the number of degree days between 629—911 d.d., thickness of the humus layer between 2—18 cm,

stoniness from 3—77 %, proportion of spruce in the previous forest 0—90 %, etc.

The northernmost areas, three of which are within the protection forest, belong to the Forest-Lapland vegetation zone, and in the southernmost areas there are features typical of the Ostrobothnia-Kainuu zone according to the classification of **Kalela** (1961). The main part of the total region belongs, however, to the forest vegetation zone of Peräpohjola. Classified according to growing sites most belong to moist upland, but dry uplands were also included in the study. Even shrub-lichen (*Ericaceae-Cladonia*) site types were included. Ploughing, as an all-round method, has been applied to fairly many different sites.

22. Seed and nursery stock

In the oldest reforestation experiments of Scots pine (areas 1—6) the quality of seed and nursery stock varied greatly. In the years 1967—68 seed of the 1961 crop from Kemijärvi was sown. The seedlings planted in 1967—68 were raised from the same seed. The germination was reported to be 73 %, but tests in the laboratory indicated only 62 % germination. During the following years, seed from Sweden (Ljusså) was sown. The seedlings planted in 1970 (Table 1) were raised from this seed. The seed lot was of poor quality: the average germination, reported to be 50 %, was found to be 37 %. X-ray examination gave the following distribution:

Seed class[1])					
0	I	II	III	IV	Total
Percent of examined seed					
2,8	7,5	25,8	34,2	29,7	100,0

The seed had matured fairly incompletely. The 1 000-grain weight was 3,4 g.

Before sowing in 1969, the seed was classified according to weight. Using the air flow from a vacuum cleaner, 40 % of the lightest seed was discarded (cf. **Yli-Vakkuri** 1961c). In 1968 the seed was, as an exception, treated with lead oxide.

The nursery stock used on areas 1—6 is described briefly in Table 1. The heterogeneity of the nursery stock was mainly due to the shortage of seeds and seedlings in Lapland at the time these experiments were established.

---

[1])
0 = Empty seed.
I = Embryo cavity empty or small undeveloped pre-embryos visible at the micropyle. Abortion of the embryo.
II = Embryo developed less than 50 % of the photographic area of the embryo cavity.
III = Embryo covers more than 50 %, but less than 70 % of the cavity. Abortives.
IV = Embryo covers more than 70 % of the cavity. Mature seed.

Table 1. Information about the nursery stock of Scots pine used on areas 1—6 where, i.a., the effect of ploughing and prescribed burning was studied.

Year	Type of stock	Nursery	Provenance	Subjective quality evaluation of the seedlings	Average stem height, cm
1967	2A + 1A	Rovaniemi Imari 66° 28′ N, 25° 32′ E, elev. 95 m	Kemijärvi 66° 30′ N, 27° 30′ E, elev. 200 m	Poor. Seedlings dry with loss of buds	7,2
	1M + 1A	»	»	Fairly good, seedlings of homogeneous quality	9,2
	1M + 1Ar	»	»	Heterogeneous seedlings, buds flushing	8,8
1968	1M + 1(Ar + Ar)	»	»	Comparatively good and homogeneous	8,7
1969	2A + 1A	Kemijärvi Ketola 66° 40′ N, 27° 10′ E, elev. 200 m	Sotkamo—Kuhmo 64° 10′ N, 29° 00′ E, elev. 180 m	Poor. Loss of buds and bark injuries	7,5
1970	2A + 1A	»	Ljusså 65° 50′ N, 21° 40′ E, elev. 300 m	Comparatively good and homogeneous	8,3

This nursery stock was clearly poorer than average and was often diseased (especially by *Scleroderris lagerbergii* Gremmen). The nursery stock of 1969 was clearly of the poorest quality. The summer when they were transplanted was exceptionally cold, and the winter arrived so early (cf. section 24) that the seedlings did not harden in time. This resulted in frost injuries. The last fungicide treatment in the fall was not made, and since the soil remained unfrozen the whole winter, i.a., snow molds reduced the quality of the nursery stock. A closer examination revealed bark damage at the root collar in about one-third of the apparently healthy stock. The bark could be entirely loose even if the seedling as a whole still seemed to be alive. Many seedlings did not have a terminal bud.

Several provenances were represented. In 1969 a small-scale (600 seedlings) randomized block experiment was conducted and included the provenances available in Lapland for reforestation work. Much variation in success was observed among transplants, but no consistent ranking was observed among provenances of seedlings.

In the nurse-crop experiments (areas 7—9) and date-of-reforestation experiment on area 10 the seed and nursery stock was from Rovaniemi. The quality of this material was much better than that used on areas 1—6. Both the pine and spruce seed had an average germination of 90 %. The nursery stock for these experiments is described in Table 2.

Table 2. Morphological characteristics of the nursery stock used on areas 7—48. Development classes of terminal bud: 0 = dead, 1 = dormant, 2 = opened, height growth started but the needles are either not visible to the naked eye or are entirely pressed along the shoot, 3 = height growth further than in class 2, needle tips separated from the shoot, 4 = height growth terminated, new terminal bud formed. Relative density of root system: 1 = few roots, 2 = medium amount of roots, 3 = large amount of roots.

Area	Year	Species and type of nursery stock	Branch tips, no.	Buds on main stem, no.	Development class of terminal bud	Stem height, cm	Root collar diameter, mm	Relative density of root system	Dry weight, g			Shoot/root ratio
									Stem	Root system	Total	
7—9	1972	Scots pine 1M + 1A	2,0	1,3	0,9	16,2	3,4	1,3	1,73	0,36	2,09	4,81
		Norway spruce 1M + 1Ar	6,9	1,0	2,9	20,1	2,0	1,4	0,76	0,23	0,99	3,30
	1973	Scots pine 1M + 1A	0,7	3,1	1,2	7,6	2,1	2,0	0,74	0,23	0,97	3,21
		Norway spruce 1M + 1Ar	8,3	1,0	2,1	17,3	2,7	2,0	1,22	0,48	1,70	2,54
	1974	Scots pine 1M + 1A	0,4	2,9	1,9	12,6	2,4	2,1	1,24	0,30	1,54	4,13
		Norway spruce 1M + 1Ar	10,9	1,0	1,6	22,0	2,7	2,2	1,27	0,44	1,71	2,89
10	1973	Scots pine 1Mk	0,1	1,0	3,0	5,7	1,3	1,6	0,16	0,04	0,20	4,00
11—48	1970	Scots pine 1M + 1A	1,0	2,2	0,8	12,4	2,5	2,2	1,06	0,40	1,46	2,65
		Scots pine 1M + 1Ar	1,0	2,1	1,5	15,3	3,5	2,4	1,54	0,65	2,19	2,37
		Scots pine 1Mk	0,7	0,9	2,4	11,6	1,6	1,8	0,35	0,09	0,44	3,89
		Norway spruce 1M + 1Ar	7,5	..	1,8	21,0	3,0	2,2	1,12	0,44	1,56	2,55
		Siberian larch 1M+1M+1A	12,7	..	..	37,4	6,6	2,2	4,87	2,12	6,99	2,30
	1971	Scots pine 1M + 1A	0,9	2,5	1,9	13,4	2,6	1,6	1,13	0,28	1,41	4,04
		Scots pine 1M + 1Ar	0,8	2,6	2,0	17,1	2,6	1,9	1,21	0,28	1,49	4,32
		Scots pine 1Mk	0,2	1,0	2,8	5,6	1,0	2,2	0,12	0,04	0,16	3,00
		Norway spruce 1M + 1Ar	7,5	..	1,1	22,0	2,4	2,0	1,16	0,31	1,47	3,74
		Siberian larch 1M + 1Mt	7,3	..	1,0	35,4	4,6	1,9	3,62	1,14	4,76	3,18
		Silver birch 1/2Mk + 1/2M	2,6	..	2,0	59,5	5,6	2,1	3,15	1,64	4,79	1,92
	1972	Scots pine 1M + 1A	1,3	3,0	1,6	16,4	3,4	1,8	2,01	0,40	2,41	5,02
		Scots pine 1Mk	—	0,9	1,9	3,5	0,8	1,9	0,07	0,02	0,09	3,50
		Scots pine 1Mt	0,8	1,0	2,7	7,1	1,4	2,0	0,28	0,10	0,38	2,80
		Norway spruce 1M + 1A	3,7	..	1,3	11,9	2,5	1,8	0,69	0,27	0,96	2,56
		Norway spruce 1M + 1Ar	4,9	..	1,6	16,7	2,3	2,0	0,85	0,26	1,11	3,27
		Siberian larch 1M + 1Ar	7,0	..	2,4	25,5	3,4	1,9	1,03	0,45	1,48	2,29
		Silver birch 1/2Mk + 1/2M	1,4	..	1,3	39,3	4,7	1,7	1,36	0,64	2,00	2,13

The main part of the nursery stock was received from the nursery of the State Board of Forestry at Imari. The nursery is located close to Rovaniemi. From each batch of stock shipped from the nursery a sample of 30—50 seedlings was taken to the laboratory for detailed studies.

On areas 11—48 the pine seed used was not of the best quality. The x-ray examination gave the following results:

Seed class[1])					
0	I	II	III	IV	Total
Percent of examined seed					
1,0	3,8	42,2	31,4	21,6	100,0

Laboratory tests made in different years showed that germination varied between 50 and 60 %. A part of the pine seed used for the sowing experiments was pre-treated by keeping them saturated with water for 6 days at +10° C. The provenance was northern Sweden (Arvidsjaur 65° 40' N, 19° 10' E, elev. 350). The provenance was the same for the pine seedlings except that the peat-pot stock used in 1972 was from Rovaniemi (Table 2).

The spruce seed (provenance Rovaniemi) on areas 11—48 was of excellent quality with germination varying between 90 and 100 %. The spruce seedlings were raised from the same seed. The nursery stock used on areas 11—48 is described in Table 2. A total of four species were planted: Scots pine, Norway spruce, silver birch and Siberian larch *(Larix sibirica* Ledeb.). Pine planting was tested both with bare-rooted and balled nursery stock. Of the latter the plastic-roll, paper-pot and peat-pot nursery stock were the most important types. Bare-rooted transplants of pine (1M + 1A) were planted as standard controls during more years than other types of material.

23. Experimental reforestations

The most essential research method in this study was field trials of reforestation. The experimental design was randomized blocks as described by e.g., **Jeffers** (1960). Randomization ensured that no subjective factors affected the comparison of methods. Using replication, the effect of random factors was controlled and the confidence limits of the results were determined. The experiments were usually nested, with the details corresponding to a split-plot design. In the field this was accomplished by first choosing the experimental area and marking the blocks. Subsequently the plots for the methods to be studied; i.e., the treatments, were randomized within the blocks with sub-treatments randomized within main treatments. The most important

1) See p. 21

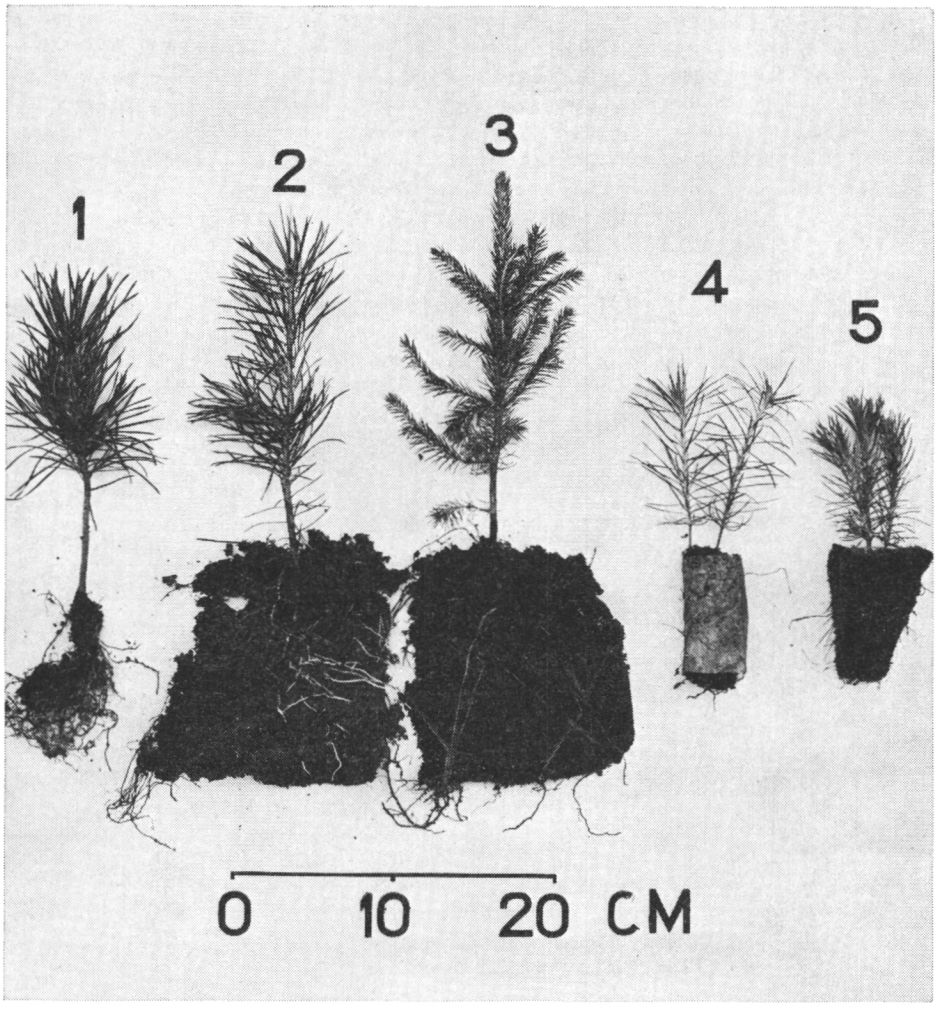


Figure 7. The most important types of planting stock used in the study: 1 = Scots pine 1M + 1A, 2 = Scots pine 1M + 1Ar, 3 = Norway spruce 1M + 1Ar, 4 = Scots pine 1Mk (Fh 408), 5 = Scots pine 1Mt (FP 620).

reforestation methods were spaced over a three-year period. Those factors which were not studied, but which may affect the results were included in the variation between blocks: e.g., the blocks to be planted were randomized among workers. The reforestation experiments were conducted on a scale approaching practical operations, and general reforestation instructions from such operations were followed. The work was done carefully, and the aim was to achieve ideal results in practical operations. A crew which usually had had previous experience was always trained in the respective techniques before the reforestation work began.

On areas 1—3 the soil treatments to be compared were: scalping, prescribed burning and scalping, ploughing and prescribed burning, and ploughing. The treatments were made in randomized order on the compartments. The remnant trees, a few birches and aspens, were killed by girdling. The prescribed burning was done in the summer of 1967, which had very suitable weather conditions for this purpose. Except for the most swampy locations, the burning was successful, even if only the top layer of the humus burned. The results probably corresponded well to the normal outcome achieved in practical operations. The ploughing was done early in the summer of 1968 with a Marttiini forest plough pulled by a Cat D6 making the furrows 4—5 m apart (Figure 4). At the time of ploughing the soil was still frozen in places. This hampered the ploughing, producing uneven results. The scalping was done manually with the commonly used semicircular planting hoe. The patches were 40 × 40 cm. All or most of the humus layer was removed, leaving the mineral soil intact.

On areas 7—9 the nurse-crop treatments were established in randomized order as 1—2 hectare plots. These were compared to clear-cut areas. Hardwood stumps were treated with 2, 4, 5-T iso-octylester (10 % in heating oil). Each stand plot was divided at random for ploughing and scarifying. Ploughing was done with the Martiini forest plough pulled by Cat D6. The patches were made manually with a peat hoe.

The reforestation work usually was done at the normal time in the early summer. The effect of date of reforestation was studied by repeating the work throughout the growing season at intervals of 100 d.d. (areas 18 and 47). Half of the transplants were lifted from the nursery at the normal time in the spring and placed in cold storage (+3° C). The transplants were removed from this storage as the growing season advanced. The other half were left to grow in the nursery and were lifted immediately prior to use in reforestation.

In the nursery and cold storage the stock was given no other care than periodic irrigation. During lifting and transfer to cold storage, the buds of the stock were usually more or less flushed (Table 2).

In order to study the possibilities offered by the sheltersowing method (**Lähde** 1974b), a special date-of-sowing experiment was started in 1973. This method was compared to normal sowing and planting of paper-pot seedlings on ploughed soil.

The planting stock was transported to the experimental area in car trunks or in covered trailers immediately preceding sowing or planting. On the area the stock was healed in according to normal practice until planted. On the areas 1—6 the stock was treated with an insecticide (Intaktol or Gesarol) before planting.

In general the sowing was done using an adapted method of band sowing. For this purpose a drill punch was constructed according to the model presented by first **Melders** (1929). In the experiment where the effect of ploughing and burning was studied (areas 1—3), the drill punch was not available; but the sowing was done in a drill made with a wooden stick. A piece of wood was placed in the patch to protect the germlings in those cases where the edge of the patch did not provide comparable protection. An exception was made in 1970 when no piece of wood was used. On areas 4—6 band sowing was compared to patch sowing, in which the seed was spread out on the patch and covered with about 1 cm of soil or pressed into the soil by stepping on it lightly. In each patch 25—30 viable seeds were sown. Small, specially designed containers were used to measure the amount of seed. In the oldest sowing experiments in 1970 the amount of seed was measured with small spoons.

A semi-circular planting hoe usually was used for planting. The paper-pot seedlings, however, were planted with a pot punch especially designed for this purpose. The peat-pot seedlings were planted with a short-handled, one-hand hoe (cf. **Appelroth** 1969). During the work, dead and clearly damaged seedlings were discarded.

On the ploughed soil the reforestation was done both on the shoulder and on the tilt. Tilts supported by slash were avoided, and the chosen point was compressed by stepping on it.

The size of the experimental unit used as a basis for the analysis of the results varied among experiments. In the oldest experiments (areas 4—6) the unit was 6—10 seedlings or sowing patches. In the experiments where the effect of ploughing and prescribed burning was studied (areas 1—3), the unit was 50—80 seedlings or sowing patches. In those experiments where the reforestation methods on ploughed areas were compared (areas 11—48), the unit was 40. In the nurse-crop experiments (areas 7—9) it was 100 seedlings or sowing patches.

24. Seedling inventories and ecological measurements

The emergence and survival of seedlings on the sowing patches, and survival of planted nursery stock were followed in the reforestation experiments. These variables were exact and easy to measure. The second main variable was height growth. Survival and height growth together indicate the rapidity of referestation. **Heikinheimo** (1941b) considered these variables to be the most important in describing the results of reforestation.

The aim was to examine the experiments at least once a year until the results stabilized. Inventories were usually made in the fall, but due to damage occurring during the first winter, inventories were also made in the spring. The condition of the planted stock was classified as follows: 0 = dead, 1 = alive but in poor condition, 2 = average condition, 3 = very good condition. The sowing patches were classified as follows: 0 = empty patch, 1 = 1—5 seedlings in the patch, 2 = > 5 seedlings in the patch. In the fall the height was measured with 1 cm precision from ground level to the apex of the terminal bud of each planted individual and of the dominating seedling in the sowed patches. The length of the terminal leader was always measured on the planted individuals.

During the examination, the most common types of damage were also recorded. Some types of damage (e.g., frost heaving) were identified reliably; others were rather subjectively evaluated (e.g., dryness). In addition to classifying observations of damage, some quantitative measurements were also made (e.g., the height of snow blight and winter parch blight[1]). Similarly, some technical features of reforestation were measured (thickness of tilt and distance of seedling from furrow).

On areas 1—3, where the effect of ploughing and prescribed burning was studied, a number of ecological measurements also were made.

---

1) The term winter parch blight is used to denote the symptoms included in the terms winter drying and winter sunscald (URN 6699, 6700).

Records were kept on melting of snow and thawing of ground frost. For these observations a transect was marked on the ploughed opening, and a control transect was marked in the forest. On each 50—60 m long transect there were 10 plots where snow depth and, after it had melted, the depth of thawed ground were measured with a sounding rod (cf. **Yli-Vakkuri** 1960).

Air temperature was measured with thermohygrographs. These were checked by calibrated maximum-minimum thermometers and manual potentiometers. The checks were made in the morning before 9 o'clock and in the afternoon after 2 o'clock. At least 10 checks were usually made each week. The maximum and minimum temperatures of the soil (depth 5 and 10 cm) and the air close to the soil (5 cm above the soil) were measured with maximum-minimum thermometers. Five spots were marked on each location to be compared, and the thermometers were rotated among these according to the experimental design of row experiments (cf. **Franssila** 1960). The thermometers were protected from direct insolation by shelters made of wood or styrofoam. The diurnal variation in soil temperature during different types of weather was measured with manual potentiometers. Copper and constantan thermocouples were placed into the substrates to be compared. These thermocouples were then connected to the potentiometer at predetermined intervals.

Progress of the growing season at the locations to be compared was followed in the summer of 1970 by measuring height increment of 10 seedlings or transplants at 3—9 day intervals. The height measurement was made from a point marked by a thin needle inserted into the shoot. The diameter increment was measured with a sliding gauge at a spot marked above the root collar.

25. Weather conditions

The time of establishing the reforestation experiments coincided with the warming of the climate of Lapland after a cold spell in the 1960's (Figure 1). The summer of 1967, when the first experiments were established was initially cooler than normal but later was clearly warmer than normal (Climatological data . . .). The year 1967 was also generally more rainy than normal. The scant precipitation in May and June and the profuse precipitation in July were particularly noteworthy. The humidity index, which indicates the joint effect of temperature and precipitation (precipitation, mm/average temperature, °C, for June—August 1967 was 17,8 compared to the normal of 16,8 at the Salla Climate Station (66° 49' N, 28° 38' E, elev. 221 m).

The summer of 1968 still belonged to the series of cold summers during the 1960's. June 1968 was warmer and more rainy than normal, but in July and August the mean temperature and precipitation remained well below normal. The humidity index in Salla for June—August was 13,8, which is normal.

The winter weather came early in the fall of 1968, and the ground remained thawed throughout the winter. At the Salla Climate Station —12°C was measured already on September 19. The first snow fell on September 20 and remained four days on the ground. Snow which remained throughout the winter fell on October 5. The sudden arrival of winter was preceded by a warm period unusual for the season.

In 1969 the monthly average temperatures, except for August and October, remained uniformly lower than normal. With respect to temperatures the year 1969 may not be regarded as unusually unfavourable. By contrast, the amount of precipitation during the growing season remained very small. The humidity index for June—August 1969 in Salla was 8,8, which was only about half of the normal index.

In 1970 the amount of precipitation was also somewhat less than normal. In July, when the moisture from the melting snow usually has evaporated from the soil, precipitation was even greater than normal. Due to the high average temperatures of June and July and the small amount of precipitation during June and August, the humidity index for June—August 1970 in Salla was only 9,6.

From the summer of 1970 a series of warm summers began. During this time most of the experiments for comparison of reforestation methods on ploughed areas were established, as well as those for studying the effects of nurse crops and date of reforestation. In addition to these summers being warm, they also had very little precipitation. The following compilation gives the precipitation, average temperature and humidity indices for June—August at the Sodankylä Climate Station (67° 22' N, 26° 39' E, elev. 178 m):

Year						
1970	1971	1972	1973	1974	1975	Average 1931—60
Precipitation, mm						
161	153	182	108	280	129	201
Average temperature, °C						
14,3	12,1	14,7	14,0	13,6	10,8	12,7
Precipitation/average temperature						
11,3	12,6	12,4	7,7	20,6	11,9	15,8

Excepting the summer of 1974, the humidity indices for these summers were lower than the average value for the 30-year period. The summer of 1973 was exceptionally dry. The summer of 1974, prior to which most of the experiments had been established, was, however, exceptionally rainy. The summer of 1975 was relatively cold and dry. Mild winters also were typical for this period.

26. Treatment of data

Treatment of data from the reforestation experiments was begun by computing the mean for the criterion variable in each experimental unit in the design. Statistical analysis was used whenever, due to large variation, the differences between treatments were not quite clear. In some of the clearest cases true differences could be seen directly from the raw data.

Usually the differences were studied by analysis of variance according to

the original experimental design. Attention was especially given to the interactions of designed treatments including soil treatment, methods of reforestation, years of reforestation, etc. Based on interactions found, the results are presented combined or separately. On ploughed sites the results obtained on shoulders and tilts are treated separately since these microprofiles were usually considered to be alternative reforestation points.

Analysis of variance requires the assumptions of normal distribution of data, independence of means and variances, and that combined treatments have additive effects (e.g., **Jeffers** 1960, **Snedecor** and **Cochran** 1968). Due to the hierarchical structure of the experimental design, it was difficult to test how closely the data fulfilled the assumptions. Interactions between treatments were very common; and, consequently, the data were subdivided into smaller parts. Uncertainty in these basic questions must be considered when interpreting the results.

Transformations were usually made according to standard procedures. When analyzing percentages the *arc sin* $\sqrt{y}$ was used. Frequency distributions were always compared when there was reason to believe that the main parameters of the distribution did not fully describe the phenomenon studied. This comparison was especially useful since the mortality of seedlings had caused a culling which may have greatly affected the main parameters of the distribution. This phenomenon has been considered rather seldom in previous reforestation studies (**Päivänen** 1968). Since seedling mortality may always in theory and often in praxis be clearly due to the treatment studied, the effect of culling and treatment on the criterion variable in the remaining sample could not be studied using analysis of covariance. A comparison of the distributions indicated which factors really contributed to differences in the results. In uncertain cases the heterogeneity of the distributions were studied by the χ^2-test (**Snedecor** and **Cochran** 1968).

In some cases after analyses of variance the means were compared by computing **Tukey**'s HSD at the 5 % level of probability.

The data for supposed causal variables were usually examined graphically, and the causal relations were deduced verbally. In some cases it was possible to use correlation and regression analyses to demonstrate the relations.

The significance of site factors could be studied on the large uniform set of data from areas 11—48. Although the number of measured site variables was relatively small, the classification of site differences was very difficult without statistical analysis. Since correlation analysis revealed complicated circular correlations, factor analysis was chosen. The site variables were analyzed factorially, and subsequently the uncorrelated values of combined variables (factor scores) were used as normal independent variables (cf. **Mäkelä** 1968).

Most variables describing the site have been described in appendix 1. Distance from the nursery to the experimental area i.e., distance from Rovaniemi (Figure 6), was included as a new variable. This distance varied from 29 to 274 km, with an average of 150 km. Remnant trees were quantified as number of trees per hectare times mean height. Climatic variables were compiled from the records of the climate station nearest the experimental area. Number of degree days included the degree days of four growing seasons between the date of reforestation and the last inventory. It varied from 2653 to 3881 d.d., with an average of 3420 d.d. Precipitation included all precipitation during the growing seasons between date of reforestation and the last inventory and varied from 560 to 863 mm, with an average of 703 mm. Precipitation at date of reforestation was calculated as the sum of the daily precipitation divided by the number of days between the rain and the date of reforestation. This date-of-reforestation precipitation varied from 4 to 29 mm, with an average of 11 mm. Humidity was calculated as the precipitation for the summer months (June—August) divided by the mean temperature and varied from 9,7 to 16,3, with an average of 13,0.

The calculations followed these steps:

1. A so-called principal-axis factor solution was sought corresponding to the correlation matrix of the independent variables. The loadings of the first principal axis were defined to explain the maximum amount of the pooled variance of the variables. The loadings of the second main axis were defined to explain the maximum amount of the residual variance and so on, until the residual correlations were small enough.
2. The factorial axes were arranged orthogonally by Varimax rotation. The number of rotated dimensions were determined on the basis of the sum of squares of the loadings, i.e., their eigenvalues. Factors with eigenvalues exceeding 1 were included in the rotation.
3. Using the method developed by **Lederman,** the factor-score variables were formed to correspond to the accepted factor solutions.
4. For each factor-score variable values corresponding to observations were calculated.
5. The correlation analysis was performed for the criterion variables explaining the association between factor scores and reforestation results.

Factor analysis has rather seldom been used in this way. In traditional factor analysis dependent-criterion variables are factorized together with independent variables. **Mäkelä** (1968) has discussed comprehensively the usability of the method described before for solution of some forestry economics problems.

3. EFFECT OF PLOUGHING

31. Effect of ploughing and prescribed burning on environment of seedlings

Results of ecological measurements

In the spring the tilts were exposed first from under the snow, and here the surface layer of soil melted first (Figure 8). When melting had begun, the soil frost thawed most rapidly in the furrows. On an average the soil melted faster from a ploughed area than from the forest, an open scalped area, or an open burned and scalped area (Table 3). The soil frost usually thawed more irregularly in the tilt than in the shoulder. On a newly ploughed area soil-frost lenses remained under thick tilts far into the summer.

In the soil horizon where the roots of seedlings grew, the effect of ploughing during the growing season was most clearly reflected in increased maximum soil temperature (Figure 9). Temperatures became especially high in the small hillocks formed by the tilt. During early summer the minimum temperatures were also higher in the tilts than in the patches made with hoe. Later in the summer the lowest soil temperatures at a depth of 5 cm were almost always found in the tilt. In late summer the minimum temperatures in the shoulders were clearly higher than in the tilts and slightly higher than in the patches. Deeper in the soil the temperature differences were smaller. At a depth of 10 cm the most extreme temperatures were still in the tilts.

Table 3. Thawing of soil frost in various substrates 2. 6.—13. 6. 1970 on area 1. Depth of soil frost (cm) was measured with a sounding rod to a depth of 30 cm next to 10 randomly selected seedlings.

Hoed patch					Burned, hoed patch				
2. 6.	5. 6.	8. 6.	11. 6.	13. 6.	2. 6.	5. 6.	8. 6.	11. 6.	13. 6.
10	20	20	25	30	20	25	—	—	—
10	15	20	—	—	15	25	30	30	30
10	25	25	—	—	15	20	25	25	25
10	25	30	—	—	25	25	30	—	—
10	15	30	—	—	10	25	30	30	—
20	25	—	—	—	10	20	30	30	—
10	25	—	—	—	15	20	30	30	—
10	30	—	—	—	10	25	25	—	—
15	20	30	—	—	15	20	25	—	—
10	25	30	—	—	15	25	30	30	—
Ploughed shoulder					Ploughed tilt				
2. 6.	5. 6.	8. 6.	11. 6.	13. 6.	2. 6.	5. 6.	8. 6.	11. 6.	13. 6.
10	30	30	—	—	—	—	—	—	—
15	15	—	—	—	20	30	30	—	—
30	30	30	—	—	30	—	—	—	—
20	—	—	—	—	25	—	—	—	—
20	30	30	—	—	15	20	30	30	—
15	25	—	—	—	30	—	—	—	—
20	20	25	—	—	20	20	30	—	—
25	25	25	—	—	30	—	—	—	—
20	25	—	—	—	30	—	—	—	—
30	30	—	—	—	20	—	—	—	—

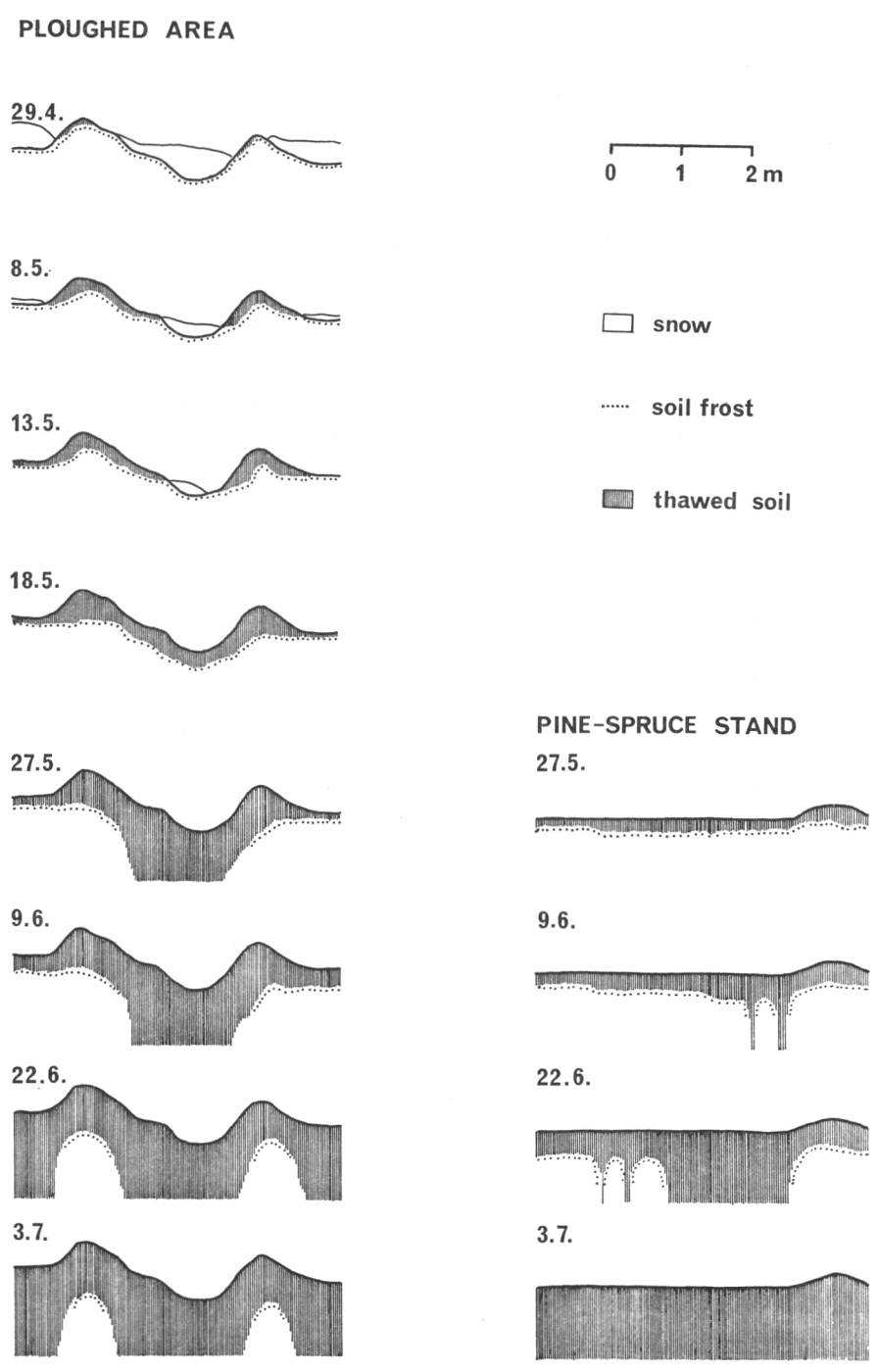


Figure 8. An example of melting of soil frost on area 5 and a dense uncut forest in the spring of 1967. Ploughing in the fall of 1966.

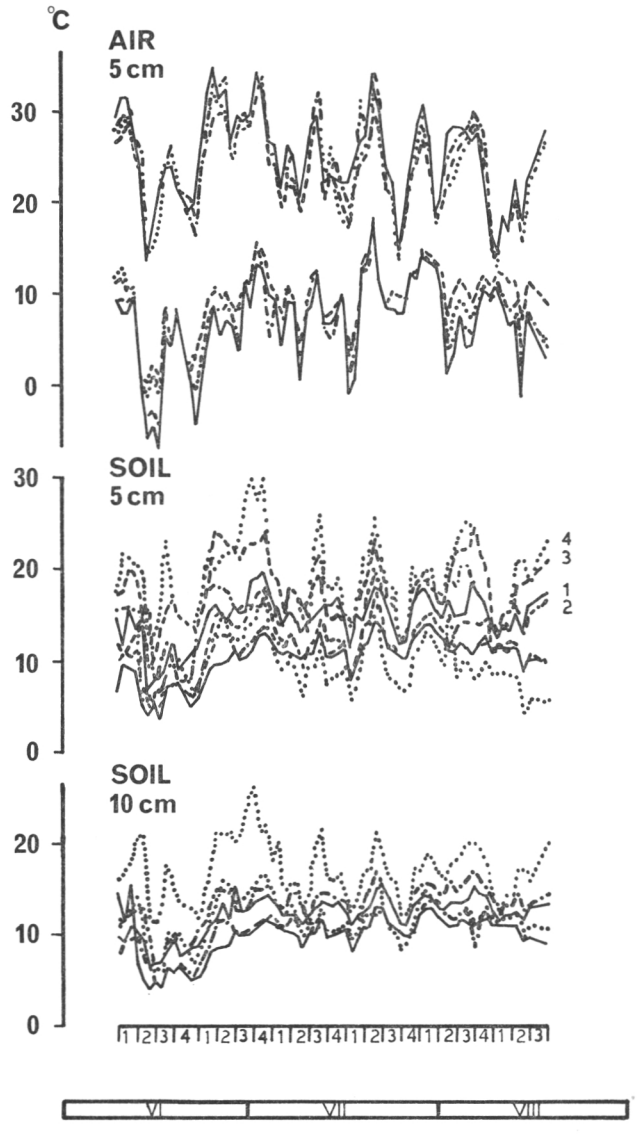


Figure 9. Variation in temperature extremes during the summer of 1970 on various substrates on area 1. The alternating positions of the thermometers are indicated by 1—4. Substrates: 1 = hoed patch, 2 = burned, hoed patch, 3 = ploughed shoulder, 4 = ploughed tilt.

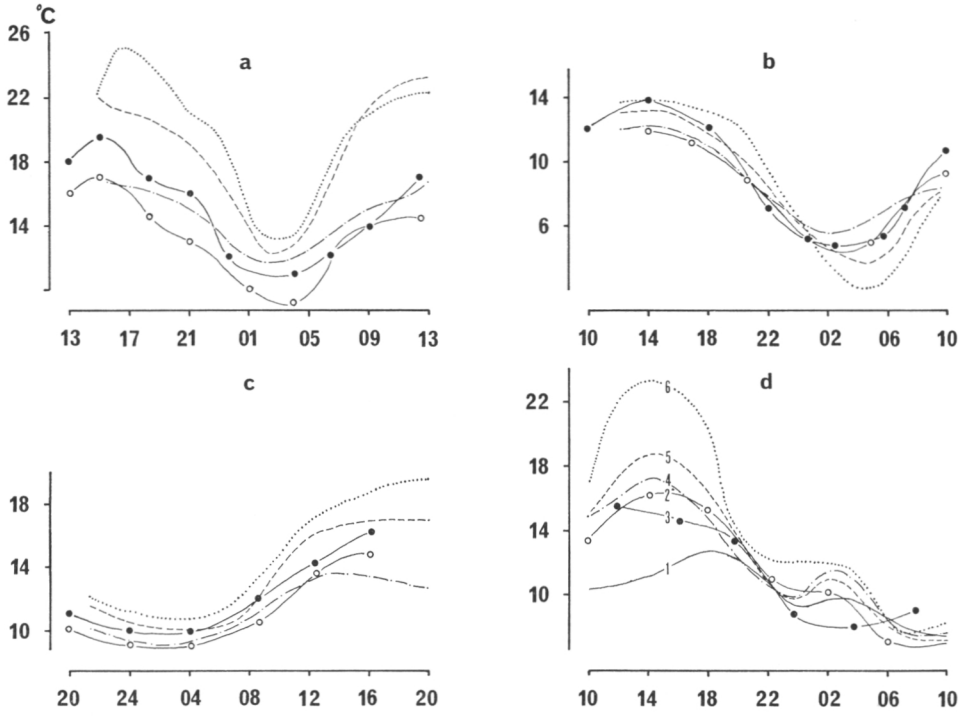


Figure 10. Diurnal variation in average soil temperature on various substrates on area 1 during different types of weather. a = clear skies June 30-July 7. 1970, b = clear skies August 2—8. 1968, c = cloudy skies August 21—22. 1968. d = mixed weather August 16—17. 1968. Substrates: 1 = border between humus and mineral soil, 2 = hoed patch, 3 = burned, hoed patch, 4 = ploughed, hoed patch on level ground between ploughed strips, 5 = ploughed shoulder, 6 = ploughed tilt.

At 5 cm above ground there were very extreme temperatures compared to those inside these substrates (Figure 9). The minimum temperatures on a ploughed site were, on an average, clearly higher ($P < 0{,}05$) than those on unploughed sites (Table 4). In certain cases the differences may have been as high as 5—10°C. For air maximum temperatures the differences were reversed and somewhat smaller compared to differences in minimum temperatures.

Table 4. Average maximum and minimum temperatures (°C) at various substrates 9. 6.—8. 8. 1970 on area 1.

Substrate	Minimum temperature			Maximum temperature		
	Air 5 cm	Soil 5 cm	Soil 10 cm	Air 5 cm	Soil 5 cm	Soil 10 cm
Hoed patch	6,6	10,1	9,9	24,8	14,5	12,1
Burned, hoed patch .	7,5	10,9	10,4	24,6	15,3	13,2
Ploughed shoulder ...	9,3	12,1	..	23,2	17,9	..
Ploughed tilt	8,4	9,8	11,6	23,2	19,1	17,1

The effect of prescribed burning on soil temperatures and air temperature above ground was of the same type as the effect of ploughing, but smaller.

Diurnal soil temperatures varied during different types of weather (Figure 10). During clear weather, day and night temperatures were clearly different. Not only was the temperature higher during the day, but also the variation between observations was greater during the day than at night. Day and night temperatures on different profile components on ploughed sites were reversed during clear weather in the fall. Cloud cover reduced the difference between night and day temperatures and caused i.a., the night temperature of the tilts, even in the fall, to be higher than on other locations (shoulder, furrow etc.).

The temperature and its duration were described by the number of the degree days. The greatest number of degree days during 7. 6.—12. 8. 1970 at a 5-cm depth was accumulated in the tilts (815 d.d.). The shoulder had a greater number of degree days (702 d.d.) than the patches (501 d.d.). Prescribed burning also somewhat seemed to increase the number of degree days in the soil (525 d.d.). The differences between numbers of degree days were formed mainly during insolation in early- and mid-summer. The air temperature measured at 0,5 m above ground on various sites differed very little from one place to another (632—662 d.d.).

There is always a large sampling error associated with measurements of the number of degree days in only one spot. The standard deviation for the daily average temperature at a 5-cm depth in a patch on unburned sites varied from 0,5°C to 2,0°C, on burned sites from 0,4°C to 1,9°C, in the shoulder on ploughed sites from 0,3°C to 1,6°C and in the tilt on ploughed sites from 0,2°C to 2,0°C. The type of weather strongly affected the variation.

On ploughed plots bare mineral soil was still the most common substrate for the saplings after four years. Species of hair moss (*Polytrichum* sp.) spread rather rapidly to burned and also to burned-and-ploughed plots (Table 5).

Table 5. Average proportions (%) of various types of ground cover on areas 1—3 four years after soil treatment. The frequencies have been determined by classifying the ground cover from a 0,25 m² area around each sapling.

Substrate	Ground cover					Total
	Mineral soil	Humus	Mixture of mineral soil and humus	Hair moss *Polytrichum* sp.	Crasses and herbs	
Unburned						
Hoed patch	8,5	51,2	24,3	15,4	0,6	100,0
Ploughed shoulder	52,1	10,8	23,9	12,8	0,4	100,0
Ploughed tilt	39,3	27,7	21,2	10,2	1,6	100,0
Burned						
Hoed patch	4,0	37,0	18,9	37,3	2,8	100,0
Ploughed shoulder	53,4	5,7	17,9	22,0	1,0	100,0
Ploughed tilt	54,2	17,1	19,0	7,7	2,0	100,0

Discussion

The effect of ploughing is based on baring the mineral soil, mixing mineral soil and humus, and changes in the soil surface profile. Ploughing bared considerably more mineral soil than scalping did and vegetation returned on ploughed plots rather slowly (cf. **Kellomäki** 1972). This was reflected in corresponding differences in soil temperature.

Spring insolation penetrates the snow to a depth of at least 30 cm, thus often increasing the temperature above 0°C (**Keränen** 1920). It may be assumed that when the insolation reaches the soil, the temperature increase is also affected by the quality of the surface. Snow and soil frost disappeared faster from a ploughed area than from a scalped or burned-and-scalped area. On a newly ploughed area soil-frost thawing in the tilts was rather irregular. When the tilts are decomposed and the profile resulting from ploughing is levelled the variation in soil-frost thawing presumably is reduced.

Soil-frost thawing was measured from above the ground only. Frost also thaws from below (**Keränen** 1923). During the winter, heat is transferred from the deeper layers towards the surface, resulting in a secondary winter temperature maximum in the upper layers of the soil. The occurrence of this maximum is dependent on formation of snow cover and ground frost (**Ångström** 1936).

The main reason for the observed rapid melting and warming of soil on ploughed plots undoubtedly is the absence of insulating moss and humus layers. During early summer, when insolation is greater than radiant emittance temperatures become especially high in the tilts. Later in the summer when radiant emittance increases the lowest minimum temperatures are generally found in the tilts. The shoulders, with no insulating layers of moss and humus, accumulate more heat during insolation than do the tilts. Thus, in the late summer the minimum temperatures in the shoulders do not drop as low as in the tilts or hoed patches. Cloudiness reduces differences between maximum and minimum temperatures and also between various substrates (**Franssila** 1960). It may be deduced that the number of clear and cloudy days and their distribution over the growing season determined how much warmer a ploughed site is compared to an unploughed site. The temperature sum of the soil generally is much greater on a ploughed site than on scalped or burned-and-scalped sites (cf. **Leikola** 1974).

Scalping also increases the temperature of mineral soil (cf. **Mørk** 1933, **Vaartaja** 1954b, **Sirén** 1957, **Söderström** 1976). Due to the small size of the patches, the effect is quite localized. Prescribed burning was also found to have a slight positive effect on soil temperature. Comparing these observations to ones presented previously (e.g., **Franssila** 1962,

Viro 1969), it must be noted that the measurements were made in patches both on the burned and unburned sites.

The air layer close to the ground becomes warm mainly due to the heat transfer by various thermodynamic and mechanical processes and by radiation from the heat accumulated in the soil (**Geiger** 1965, p. 142). Thus, soil temperature also strongly affects the air temperature close to the ground. Air turbulence and exchange, however, rapidly reduce differences in air temperature between various sites. At 5 cm above ground the minimum temperatures on a ploughed site were, on an average, higher than those on unploughed sites (cf. **Geiger** and **Fritzsche** 1940, **Bärring** 1967, **Braekke** 1972, **Söderström** 1975). The high minimum temperatures on the shoulders, which differed from those on other substrates especially in the late summer, are clearly related to the favourable thermal conditions in the shoulders. The comparatively high minimum temperatures above the tilts may also have been affected by the thermal inversion formed at ground level at night with radiant emittance. During such nights, the temperature increases with increased height above ground, and there fore the air temperature on the hillocks may become higher compared to that in the depressions. In addition the coldest air flows to the furrows on ploughed sites (cf. **Bärring** 1967). Up to a height of 0,5 m difference between air temperatures above various substrates seemed to disappear (cf. **Braekke** 1973).

The change in temperature naturally has several effects on the environment of seedlings. According to the well-known van't Hoff's law, a 10°C increase in ambient temperature results in a twofold to threefold increase in rate of chemical reactions. An increase in temperature speeds up the decomposition of organic matter in the soil, thus increasing the amounts of nutrients, especially nitrogen, available to the plants (**Mikola** 1960, **Viro** 1963).

When temperature increases, the viscosity of water is reduced, and the permeability of cell membranes in the roots increases. On the other hand, increased temperature increases evaporation, which may cause drought. Both tensiometric (**Söderström** 1975) and soil moisture content (**Kauppila** and **Lähde** 1975) measurements have indicated that soil moisture varies more easily in ploughed soil than in scalped soil. In untreated soil the humus layer decreases variation in soil temperature by reducing evaporation during dry periods and absorbing water during rainfall. On untreated soil, moisture variation is also reduced by vegetation. On ploughed soil, drainage is increased by the furrows leading water away (cf. **Troedsson** and **Utbult** 1972).

Ploughing affects the porosity of the soil by affecting soil moisture and mixing the soil components. In general, ploughing increases soil air capasity

(e.g., **Kauppila** and **Lähde** 1975). There are, however, large differences between the profile components on a ploughed site.

Ploughing breaks up the horizontal layering of the soil. Soil components go into the tilt both from the leached A-horizon and from the concentrated B-horizon. In addition, a douple humus layer will decompose under the tilt. According to **Viro** (1967), the nutrients, when leached, do not go into any particular layer; but nutrients available for seedlings occur most in the humus layer and in the A-horizon. When soil is turned from lower to upper layers, however, many nutrients may become available to the plants when poorly weathering minerals are transferred into conditions conducive to weathering. According to **Aaltonen** (1938), soil tilling is necessary on strongly podsolized soil.

Moisture, temperature, and pH are the most important factors in determining the soil biological activity. According to **Voss-Lagerlund** (1976), ploughing increases the number of bacteria in the soil especially at a depth of 10—20 cm. Unfavourable climatic conditions such as prolonged hot during growing season, however, can lower the bacterial number drastically even on ploughed site in Lapland.

32. Effect of ploughing and prescribed burning on success of reforestation and early growth of seedlings

Results of experimental reforestations

Large variations in the success of experimental reforestation were found on areas 1—3, where the effect of ploughing and prescribed burning was studied (Appendix 1).

In general the results began to stabilize by two, and at the most three, years after reforestation. There were some exceptions on the burned plots where high mortality of planted stock continued for several years. The coefficient of variation in the success of reforestation was somewhat smaller for sowing (0,22) compared to planting (0,35). Success of reforestation was poorest on the fine-textured, swampy *Empetrum-Myrtillus* site. Sowings made during the cold summer of 1968 were especially prone to failure. The variation between areas: i.e., between sites, was somewhat smaller for planting than for sowing. The effect of soil treatment was obviously parallel on all areas.

The analysis of variance (Table 6) indicated that the interaction between soil treatment and year of reforestation was relatively small. The effect of the soil treatments on the success of reforestations was similar for all three years. In contrast, all other first-degree interactions were statistically very significant. The results of reforestation on ploughed areas on the tilt demonstrated even second-degree interactions that were statistically very significant. Consequently, these effects must be inspected separately in order to make a correct interpretation of the results (Table 7). The effect

Table 6. Analysis of variance for the success of reforestation on areas 1—3, where the effect of ploughing and prescribed burning was studied (cf. Table 7).

Source of variance	Degrees of freedom	Mean square		F-value	
		Data from shoulder on ploughed area	Data from tilt on ploughed area	Data from shoulder on ploughed area	Data from tilt on ploughed area
Areas	2	314,3	456,2	4,8	10,6*
Soil treatments	3	321,9	319,8	4,7	7,3*
Residual	6	65,6	43,8		
Years of reforestation	2	2693,4	1928,2	104,0***	63,8***
Soil treatments x years of reforestation	6	35,5	71,5	1,4	2,4
Residual	16	25,9	30,2		
Methods of reforestation	1	1457,1	831,6	34,5***	35,0***
Soil treatments x methods of reforestation	3	374,9	553,6	8,9***	23,3***
Years of reforestation x methods of reforestation	4	733,1	403,3	17,4***	17,0***
Soil treatments x years of reforestation x methods of reforestation	5	98,4	179,4	2,3	7,6***
Residual	23	42,2	23,8		

Table 7. Average success (%) of reforestation on areas 1—3, where the effect of ploughing and prescribed burning was studied. Measurements made in the fall of 1972. Tree species Scots pine.

Substrate	Year and method of reforestation					
	1968		1969		1970	
	Sowing	Planting	Sowing	Planting	Sowing	Planting
Unburned						
Hoed patch	63,3	76,3	84,2	41,6	90,4	89,1
Ploughed shoulder	66,0	79,3	88,7	50,0	88,0	96,0
Ploughed tilt	59,3	76,0	63,3	45,3	78,7	86,7
Burned						
Hoed patch	71,2	37,9	81,7	27,9	92,1	79,2
Ploughed shoulder	51,3	49,3	74,0	44,0	82,0	90,7
Ploughed tilt	63,3	58,7	51,3	41,3	63,3	76,7

of soil treatment was clearly demonstrated when the experiment was analyzed as a 2 × 2 factorial (Table 8).

The main effect of ploughing on success of sowing was negative. Since the interaction between treatments was statistically significant, the effect of ploughing must be examined separately for burned and unburned plots:

Treatment		Percentage points
Unburned		
	Shoulder	1,6
	Tilt	−12,2***
Burned		
	Shoulder	−12,6***
	Tilt	−22,4***

On the burned areas the negative effect of ploughing on success of sowing was clearly shown.

Sowing failures were most often ascribed to drought. Observations about drought were very subjective since available material was scant. More reliable observations could be made about frost heaving which was found to cause considerable damage among sowed seedlings (Figure 11). Ploughing in combination with prescribed burning, compared to scalping only, appeared to increase damage caused by frost heaving.

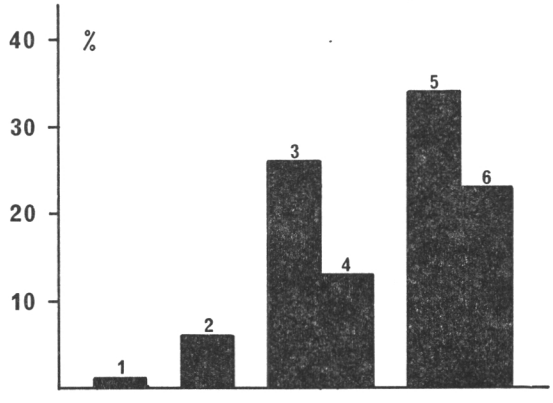


Figure 11. Frequency of damage by frost heaving in stocked sowed patches on areas 1—3. Sowed in 1968, inventory in the spring of 1969. Substrates: 1 = hoed patch, 2 = burned, hoed patch, 3 = ploughed shoulder, 4 = ploughed tilt, 5 = burned, ploughed shoulder, 6 = burned, ploughed tilt.

Table 8. The main effect and interactions of prescribed burning and ploughing on success (percentage points) on areas 1—3. Control treatment scalping (cf. Table 7).

Method of reforestation and soil treatment	Results from shoulders on ploughed areas				Results from tilts on ploughed areas			
	Year of reforestation			Average	Year of reforestation			Average
	1968	1969	1970		1968	1969	1970	
Sowing								
Prescribed burning	— 3,4	— 8,6	—2,2	— 4,7	6,0	— 7,2	— 6,8	— 2,7
Ploughing	— 8,6	— 1,6	—6,2	— 5,5	— 6,0	—25,6**	—20,2***	—17,3***
Prescribed burning x ploughing	—11,3	— 6,1	—3,8	— 7,1*	— 2,0	— 4,8	— 8,6	— 5,1
Planting								
Prescribed burning	—34,2***	— 9,8	—7,6	—17,2**	—27,8***	— 8,8	—10,0	—15,5**
Ploughing	7,2	12,2*	9,2	9,5*	10,2	8,6	— 2,4	5,5
Prescribed burning x ploughing	4,2	3,8	2,3	3,4	10,6	4,8	0,0	5,1

Frost heaving is the result of soil movements caused by alternate freezing and thawing which lifts the seedlings upwards and finally may even remove them from the soil entirely. Seedling mortality is especially high when a thin layer of soil is suspended on perpendicular icicles in the soil (**Aaltonen** 1948, p. 259—261).

The effect of ploughing on survival of planted seedlings was generally favourable (Table 8). Some exceptions to this general conclusion were found for planting on the tilt. The effect of ploughing was shown most clearly in the 1969 plantings. The average mortality was greatest in these plantings; therefore they seem to show most clearly the effect of soil treatment.

The main effect of prescribed burning on success of sowing was also negative. This unfavourable effect became apparent only in connection with ploughing. The single effect of prescribed burning for sowing on ploughed and unploughed plots was:

Treatment	Percentage points
Unploughed	2,4
Ploughed shoulder	—11,8***
Ploughed tilt	— 7,8*

The favourable effect of prescribed burning was shown most clearly for sowings done during the cold summer of 1968 (Section 25). In contrast, the unfavourable effect was shown most clearly in the dry summer of 1969.

The most distinct result in the experiment on areas 1—3 was the high mortality of planted stock on the burned plots (Table 8). This effect was somewhat reduced during the second and third years of reforestation, but was evident during the whole experiment. In the seedling inventories the increased mortality caused by prescribed burning was generally ascribed to drought or frost. In this type of damage the needles turned copper-brown in zones and needles came off easily. The dying of planted seedlings on burned areas was found already during the first growing season and was greatest during the first winter.

Hylobius abietis L. was very seldom observed to have caused damage. Consequently, the effect of this insect, generally common on burned areas, was considered to be negligible.

No firm conclusions were reached concerning the possible role of *Rhizina undulata* on the effect of prescribed burning. On the burned area a few clusters of sporophores were found, but such large amounts as e.g., **Laine** (1968) has described, were not found. *Rhizina* was not observed on the experimental plots.

Scleroderris lagerbergii was found in the present experiment rather commonly in planted seedling until 1969. The pathogen had, already infected the seedlings in the nursery. Later, apparently due to the dry and warm summers, the disease had entirely disappeared from the living seedlings at least in an easily recognizable form.

Snow blight *(Phacidium infestans)* was found already after the first winter on some planted seedlings on burned plots. In later inventories snow blight was consistently found somewhat

more frequently on burned areas than on unburned areas, and on ploughed areas somewhat more frequently than on unploughed ones. On a surface not covered by vegetation the infected needles easily spread into contact with healthy seedlings. Apparently even very sparse ground vegetation acts as a sieve to prevent dispersal.

Winter Parch blight (cf. p. 27) was observed above the snow surface in planted seedlings. The symptoms are etiolation of needles and partial desiccation of the shoot. **Kihlman** (1890) has described the phenomenon on Norway spruce on the Kola peninsula. The underlying cause is, even in this case, damage by cold and drought. Neither winter parch blight nor snow blight had any appreciable effect on the results.

No appreciable differences in time of initiation of seedling growth were found between substrates with different treatments (Figure 12). Completion

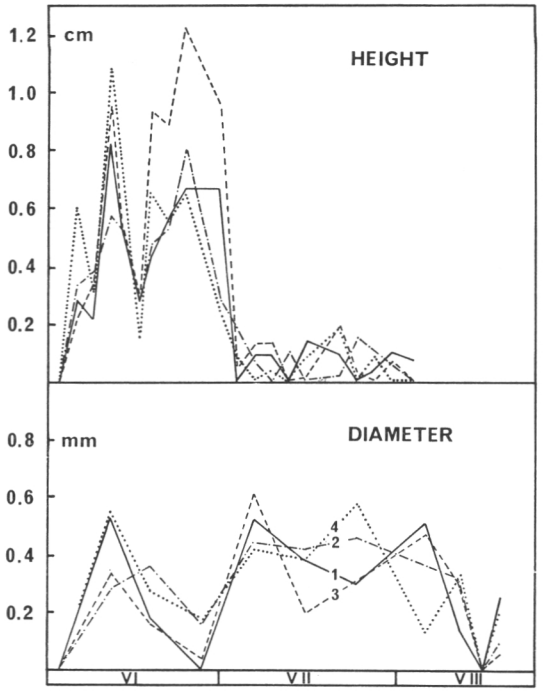


Figure 12. Height and diameter growth during the summer of 1970 of pine seedlings planted in 1968 on different substrates. Substrates: 1 = hoed patch, 2 = burned, hoed patch, 3 = ploughed shoulder, 4 = ploughed tilt.

of growth at various times of the growing season varied with the different substrates in accordance with the observed differences in time of ground-frost thaw and temperature. The seedlings completed height growth earlier on the tilts, where growth also varied more than on the other profile components. The relative differences were small, however.

Ploughing very clearly increased growth of planted seedlings (Table 9). For sowed seedlings the effect of ploughing on growth was less distinct.

Table 9. The main effect and interactions of prescribed burning and ploughing on height growth cm of seedlings on areas 1—3. Control treatment scalping (cf. Table 7).

Method of reforestation and soil treatments	Results from shoulder on ploughed areas				Results from tilt on ploughed areas			
	Year of reforestation			Average	Year of reforestation			Average
	1968	1969	1970		1968	1969	1970	
Sowing								
Prescribed burning	2,6	1,0	0,0	1,2*	2,1*	1,0	0,0	1,0*
Ploughing	2,0	0,4	—0,2	0,7	0,7	0,2	—0,2	0,2
Prescribed burning x ploughing	—0,4	—0,6	—0,0	—0,3	—0,9	—0,6	—0,0	—0,5
Planting								
Prescribed burning	3,6	2,6	2,1	2,8*	5,4	5,6	3,4*	4,8
Ploughing	11,0***	7,6**	7,1**	8,6***	9,0*	7,5*	7,8**	8,1**
Prescribed burning x ploughing	—3,6	0,8**	—0,6	—1,1	1,8	3,8	0,6	0,9

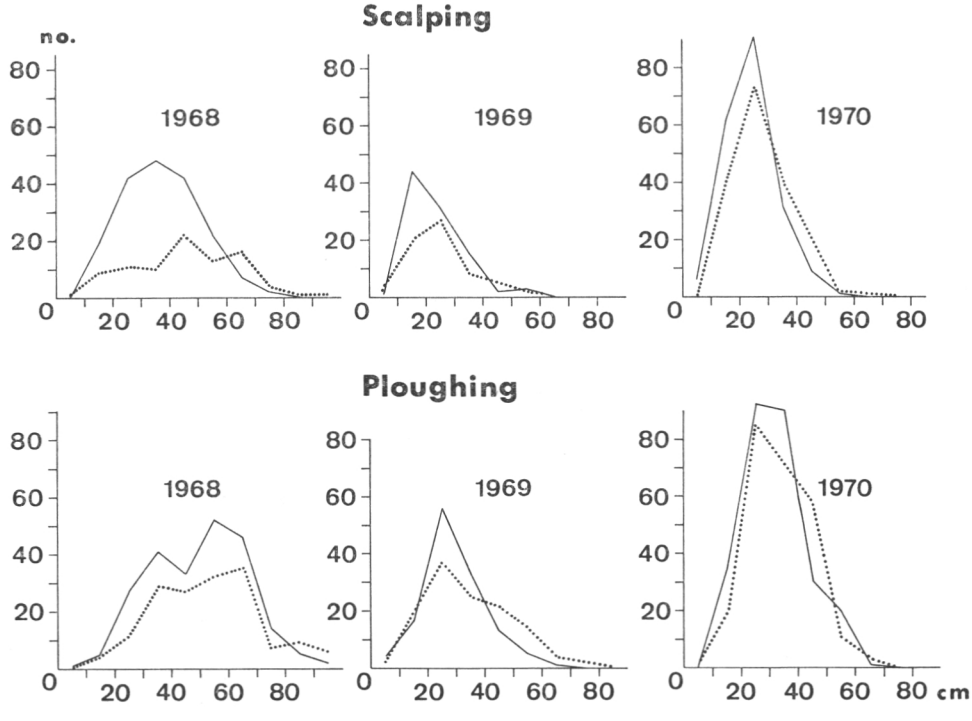


Figure 13. Frequency of height classes of surviving seedlings planted in 1968—1970 on areas 1—3, inventory in the fall of 1972. Solid line = unburned, dotted line = burned.

Prescribed burning unambiguously increased growth of sowed seedlings. For planted seedlings prescribed burning increased mortality considerably among poorly growing seedlings (Figure 13), which explained a lot of the differences in average growth of surviving seedlings compared to those on unburned plots.

Discussion

The effect of ploughing on success of reforestation was distinctly favourable only on planting. For sowing even negative effects were found, depending on the sowing point. The basic factor causing differences in results was considered to be drought. Of course, visual estimates of the causal relationships are uncertain. After the seedlings have died, all of them are more or less dry; and when death is due to frost, the symptoms are typical for those of drought. Frost causes accumulation of ice in the intercellular spaces; and when this continues, the cell walls break (**Levitt** 1956, p. 21—47). Even if accumulation of ice does not proceed to this stage, the cells may be damaged because water is pressed out of vital cell organelles into the intercellular spaces. This results in damage due to drought. Immediately after planting, however, access to water is most decisive for survival of a seedling (cf. **Yli-Vakkuri** 1957). Although the climate of Lapland on an average is humid (e.g., **Kujala** 1936), rather arid periods may occur during the growing season (Section 25). It can be assumed that rooting and access to water are generally easier for planted seedlings in the substrate created by ploughing than in hoed patches (**Mutka** and **Lähde** 1977).

The conditions where the seeds and germlings live may be much different from that of a planted seedling. In the thin surface layer of ploughed soil the seeds and germlings are probably exposed to unfavourable weather effects more than planted seedlings. Drought has been found to blight germinating seeds especially (**Vaartaja** 1954a, **Yli-Vakkuri** 1961a,c). In the present study ploughing increased damage caused by frost heaving among sowed seedlings. According to **Aaltonen** (1948, p. 259) frost heaving is worst in moist, relatively fine-textured soil and during conditions of temperature extremes. Findings in the present study agree well with those described previously.

Ploughing increased growth of planted seedlings considerably. Temperature is the most important limiting factor for tree and cereal growth in the far North (**Hustich** 1948, **Mikola** 1950, 1952, **Pessi** 1958, **Sirén** 1961). Ploughing increases soil temperature so much that it must be reflected in increased growth of the seedlings, unless some other factor becomes limiting. According to **Troedsson** and **Utbult** (1972), lack

of water during the vegetation period may later reduce the yield of ploughed forests.

Ploughing turns up the surface soil components both from the leached A-horizon and the concentrated B-horizon. In the vessel experiments by **Tertti** (**Herz** 1934), where seeds and seedlings were continuously irrigated, total growth was best in soil from the A-horizon. **Tertti** did not regard the turning of the B-horizon up to the surface to be necessary or even useful in southern Finland, but remarked that the situation may be different in northern Finland where leaching has advanced farther. According to **Aaltonen**'s (1940, p. 481, 1942) growth studies where the soil was ferrous podsol from an old spruce stand in Lapland, the soil from the B-horizon proved to be the best substrate for growth.

At the beginning of the growing season no clear differences in time of initiation of seedling growth were found between ploughed and unploughed sites. The coming of the summer in question (1970) was very abrupt and intervals of growth measurements perhaps were too long. Among mature trees the significance of soil temperature for growth initiation seems to be secondary to that of air temperature (e.g., **Leikola** 1969). Indications of differences in completion of growth appeared. During mid-summer no clear distinction can be made between the effects of air and soil temperature since the temperature of soil and air are closely related in the layer where the seedlings live.

Burning alone had a slight positive effect on results of sowing. Thus, results of the present study confirmed applicability of prescribed burning for sowing (cf. **Borg** 1928, **Eneroth** 1931, **Heikinheimo** 1939, **Tirén** 1953, **Kolehmainen** 1955, **Sirén** 1957, 1973, **Viro** 1969, **Etholén** 1972). On the contrary, results of planting on burned sites were strikingly poor because of the high mortality of seedlings. The interaction of burning and ploughing was clearly negative even for success of sowing.

The mortality of planted stock on burned sites began already during the first growing season. This suggests specifically that the water balance of the seedlings had been disturbed (cf. **Yli-Vakkuri** 1957). Prescribed burning apparently increases the total amount of water-soluble salts in the soil[1]) and thus increases the salt consentration of the water in the soil. Absorption of water may then be more difficult for the seedlings. Mortality due to drought caused by this chain of events is well known from several

---

1) In the summer of 1974 a superficial prescribed burning on a meager pine upland site close to Rovaniemi clearly increased the electrolyte content of the humus. The following averages are based on 10 samples taken a week after burning:

	Unburned	Burned
	Conductivity, C/cm	
Humus	0,8	1,7
Mineral soil (15 cm)	0,5	0,4

studies of reforestation of fertilized soil (**Viro** 1966). The possibility of mortality due to drought is increased by the microclimatic extremes at the burned and bare surface.

If unfavourable water balance was involved, then why was there not a similar effect of prescribed burning on sowed seedlings? The seed germinates only during moist weather when the salt consentration of the water in the soil cannot have the same immediate effect as it has on plantes seedlings (**Yli-Vakkuri** 1958, 1961a,c). Untransferred seedlings raised from seed usually are more resistant to high salt concentration than transferred seedlings (**Benzian** 1965). Strong fertilization, however, has been found also to blight sowed seedlings (**Mannerkoski** 1971).

The role of *Rhizina undulata* on the effect of prescribed burning remained indistinct. According to **Hagner** (1960, 1962), sowed seedlings are more resistant to *R. undulata* than are planted seedlings. Results obtained in the present study agree with these findings. It may be presumed that small sowed seedlings grown in the surface layer of the soil do not provide infection courts to the same extent as do planted seedlings on which roots are often broken. The favourable time for the fungus lasts about 2—3 years after cutting and burning (**Hagner** l.c.). This also would be in agreement with the observed effects of prescribed burning.

Observations on the fungus started at the same time in the 1960's that planting commonly began to replace sowing in reforestation operations. Mycologists (e.g., **Laine** 1968) are of the opinion that the fungus only recently has started to spread in Finland. However, for several decades increased mortality of planted seedlings caused by prescribed burning has been found. The effect of prescribed burning on the success of reforestation was 24,7 percentage points for sowing and -17,3 points for planting in data collected by **Etholén** (1972), including reforestations from 1953 onwards in the Finnish Forest Research Institute's Forestry District of North Finland. A similar increase, not associated with *Rhizina undulata*, has also been found in **Etholén**'s (1974) experiments on scalping by burning and subsequent planting. The role of the fungus as a primary cause of mortality on burned areas has probably been exaggerated.

33. Effect of ploughing and nurse crop on success of reforestation and early growth of seedlings

Results of experimental reforestations

The effect of ploughing on the success of planted and sowed seedlings was studied on areas 7—9 (Appendix 1), where the soil treatment was combined with various nurse-crop treatments. So far, no general and con-

sistent effect of ploughing on success of reforestation was yet observed for all of the data. Effects were only found in various interactions, and these were often difficult to interpret (Table 10).

Table 10. Analysis of variance for success of reforestation on areas 7—9, where the effect of ploughing and nurse crop was studied (cf. Table 11).

Source of variance	Degrees of freedom	Mean Square	F-value
Areas	2	1937,0	18,5**
Nurse crops	3	107,1	1,0
Residual	6	104,7	
Soil treatments	1	2,0	0,0
Nurse crops x soil treatments	3	234,4	0,8
Residual	8	275,5	
Methods of reforestation	1	17388,2	61,8***
Nurse crops x methods of reforestation	3	160,0	0,6
Soil treatments x methods of reforestation	1	9,4	0,0
Nurse crops x soil treatments x methods of reforestation	3	201,8	0,7
Residual	16	281,6	
Tree species	1	121,5	2,8
Nurse crops x tree species	3	78,8	1,8
Soil treatments x tree species	1	145,0	3,4
Method of reforestation x tree species	1	2992,7	69,0***
Nurse crops x methods of reforestation x tree species	3	140,3	3,2*
Nurse crops x soil treatments x tree species	3	306,0	7,0***
Soil treatments x methods of reforestation x tree species	1	31,4	0,7
Nurse crops x soil treatments x methods of reforestation x tree species	3	128,6	3,0*
Residual	32	43,4	

A detailed examination of the results revealed differences which supported conclusions based on previous experiments (Section 32). The increased growth caused by ploughing was statistically significant only for Scots pine ($P < 0{,}05$), but indications of increased growth were also observed for Norway spruce (Table 11). Better growth due to ploughing was very evident for the oldest planted seedlings. For sowed seedlings there are now results only from area 9. Four growing seasons after sowing the dominant seedlings of sowed clusters were clearly taller on ploughed areas than on scalped areas.

The nurse crop was not found to have any clear main effect on success of reforestation (Table 10). A fairly clear, negative effect of the nurse crop

Table 11. Average success (%) of reforestation and height (cm) of planted seedlings after two growing seasons on areas 7—9, where the effect of ploughing and nurse crop was studied. In parentheses height of dominant seedling in sowed cluster on area 9 after four growing seasons.

Nurse crop and soil treatment	Sowing of Scots pine		Sowing of Norway spruce		Planting of Scots pine		Planting of Norway spruce	
	Success	Stem height	Success	Stem height	Success	Stem height	Success	Stem height
Clear cut								
Scalping	72,0	(8,2)	48,7	(4,0)	89,7	14,8	96,0	20,4
Ploughing	50,7	(14,9)	28,3	(11,6)	75,0	18,4	98,0	22,6
Remnant birches 150—200 trees/ha								
Scalping	64,3	(11,5)	33,0	(4,0)	80,7	15,6	96,0	23,0
Ploughing	58,7	(17,0)	48,3	(7,6)	79,3	16,6	96,0	21,8
Nurse crop birches 300—400 trees/ha								
Scalping	58,3	(6,4)	48,7	(4,8)	84,3	14,7	95,0	21,5
Ploughing	65,0	(11,2)	67,0	(8,0)	85,3	16,8	95,7	21,8
Nurse crop birches 600—800 trees/ha								
Scalping	47,3	(4,9)	47,0	(4,5)	74,0	13,4	98,0	22,4
Ploughing	51,3	(9,7)	47,0	(7,7)	84,5	15,9	97,0	21,8

($P < 0{,}001$) was observed only in pine sowings made in hoed patches (Table 11). On ploughed sites the nurse crop up to a density of 300—400 trees/ha seemed to increase the success of reforestation ($P < 0{,}001$).

The experimental areas were reforested during different years (1972—74). The summer of 1972 had very favourable temperature and humidity; the summer of 1973 was exceptionally dry; and in 1974 the summer was exceptionally rainy (Section 25). The differences in weather seemed to be reflected particularly in differences in sowing results. Sowings succeeded best in 1972 (73 %) and poorest in 1973 (35 %). For planting, there were no obvious differences due to weather conditions.

In the oldest experimental reforestation seedling growth was reduced due to nurse-crop effects (Figure 14). This result was similar for both tree species on scalped as well as ploughed sites. The reduction of growth due to the nurse crop became evident 3—4 growing seasons after reforestation, at the latest.

Note that in the present experiment spruce planting succeeded relatively better and sowing worse than the corresponding operations with pine. The planted spruce seedlings survived well regardless of whether the soil was ploughed or scalped and whether they were under a nurse crop or not.

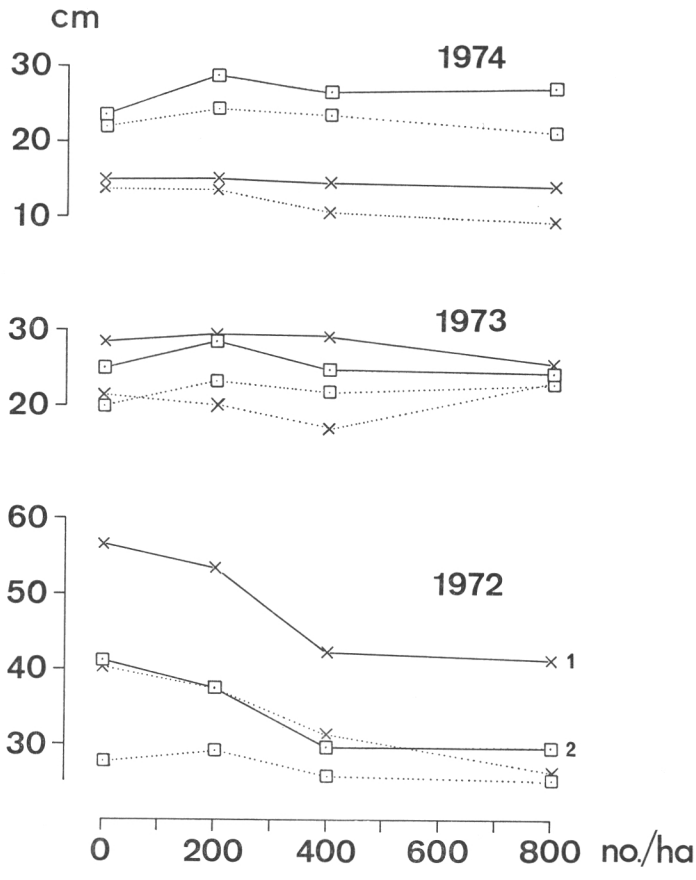


Figure 14. Effect of density of nurse crop on height growth of seedlings planted in 1972—1974 on area 9. Inventory in 1975. Solid line = ploughed, dotted line = scalped. Species and type of planting stock: 1 = Scots pine 1M + 1A, 2 = Norway spruce 1M + 1Ar.

Discussion

No general and consistent effect of ploughing and nurse crop on success of reforestation was observed. The experimental areas were reforested during different years, which apparently caused differences in the results. There may have been also some interaction between the weather of the year of reforestation and the nurse crop. No reliable estimates of such an interaction was yet obtained.

The nurse crop has a noticeable, negative effect on success of sowings made in hoed patches. This result agrees with those of many previous studies (**Heikinheimo** 1941a, **Sirén** 1952, **Yli-Vakkuri** 1961b, **Poh-**

tila 1972a). According to **Leikola** (1975), the number of degree days for the soil is always smaller under a nurse crop than in an opening, apparently due to shading. This may reduce germination of sowed seed. The litter produced by the nurse crop sometimes covers the patches made with a hoe, thus entirely suppressing the germinating seed (**Heikinheimo** 1941a). The nurse crop increases humidity, reduces wind velocity and variation in temperature and humidity close to the ground (**Vaartaja** 1954b, **Baumgartner** 1956, **Göhre** and **Lützke** 1956, **Odin** 1964, 1974, **Leikola** 1975). On ploughed sites this benefit was probably a more important factor than shading, except under the densest nurse crops. A similar causal relationship may occur on the most undertile pine uplands in Lapland, where naturally regenerated seedlings often are clustered conspicuously into »nurseries» under the seed trees (e.g., **Aaltonen** 1919, 1948, p. 305—307).

Ploughing increased the growth of seedlings which supports previous conclusions (Section 32). The nurse crop reduced the growth of seedlings. Based on what has been said previously, this result seems quite natural. Opposite effects of the nurse crop have been found already in central Sweden about 550 m above sea level (**Sirén, Sinko** and **Berggren** 1974).

It is believed that the nurse crop is useful especially in preventing damage by radiation frost. On sites to be reforested with spruce it is common practice to use remnant trees as a nurse crop. According to **Leikola** and **Pylkkö** (1968), the nurse crop should be rather dense, with a 60—70 % coverage by the canopy, before it will effectively prevent frost damage. In Lapland radiation frosts seldom occur, due to the short summer nights. Farther south the experiences gained by using nurse crops have been favourable (**Sirén, Sinko** and **Nilsson** 1974). Of course a nurse crop does not protect against winter cold. The influence of nurse crops on gas content of the air, soil air exchange and porosity, dispersal of fungal pathogens are other possible beneficial side effects. Definite information about the role of these effects is not available.

The result now presented must be considered to be very preliminary. The experimental reforestations are still young, and the seedlings have not experienced any cold periods which e.g., in the 1960's caused severe mortality in reforestation in Lapland.

4. TIMING OF REFORESTATION

41. Effect of time between ploughing and reforestation on success of reforestation

Results of experimental reforestations

The amount of time available for soil stabilization affected success of reforestation quite little in experiments where reforestation was carried out for several years after ploughing (Figure 15). Sowing was on an average

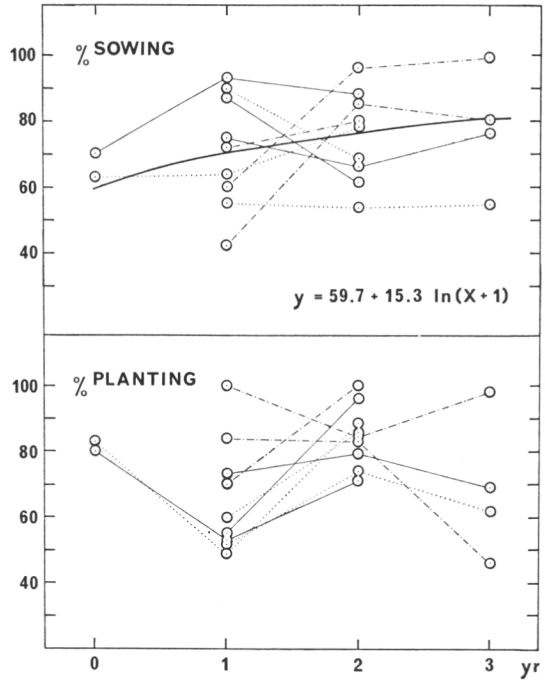


Figure 15. The effect of time interval between ploughing and reforestation of Scots pine on success of reforestation in these experiments where reforestation was done during several years. Solid line = shoulder, dotted line = tilt, broken line = shoulder and tilt not separated. Only stock 1M + 1A and 1M + 1Ar included.

more successful the longer the time was between ploughing and sowing. The semi-logarithmic model used seemed to give the best fit to the data ($r = 0{,}45$, $P < 0{,}1$). Differences in the quality of seed (Section 22) and weather conditions (Section 25) certainly increased variation between the years, but no consistent estimates of such effects could yet be demonstrated.

The results obtained on areas 4—6 clearly differed from the average. On these areas sowing was less successful when done the second year (1968) after ploughing compared to sowing during the first year (1967). This was probably due mainly to the exceptionally cold summer of 1968 (cf. Section 25). Shoulder and tilt sowing was more successful in the summer of 1968 compared to the summer of 1967; sowing on burned areas was more successful than sowing on peat land:

	4. Unburned upland		5. Burned upland		6. Peat land	
	Year of sowing		Year of sowing		Year of sowing	
	1967	1968	1967	1968	1967	1968
	Survival (%) at the end of the 3rd growing season					
Shoulder	89,6	83,8	95,8	76,2	75,0	22,5
Tilt	93,8	72,5	75,0	61,2	97,9	71,2
Level ground	75,0	40,0	91,7	81,2	72,9	26,2

The X^2 for heterogeneity of the above relative differences was 9,56**.

No general correlation was observed between success of planting and time available for soil stabilization (Figure 15). Tilt planting was on an average more successful as the time between ploughing and planting increased. For sowing this seemed not to be the case.

During consecutive years of reforestation there were differences in frequency of damage due to frost heaving among sowed seedlings. On areas 4—6 the postponement of sowing from the first (1967) to the second (1968) year after ploughing reduced this damage to about half (10 %) of what it had been the previour year (19 %). Frost heaving is believed to have caused sowing failures in 30 % of the patches sowed in 1967 and in 15 % of the patches sowed in 1968, determined by examination in the fall of 1969.

Similar damage due to frost heaving was not found for planted seedlings, but such damage on the microreliefs varied from 1967 to 1968.

Planting Year	Shoulder	Tilt	Level ground
	Percent of cases		
1967	74	23	3
1968	36	25	39

On level ground the patches were made immediately before planting. Thus the changes from one year to the next in the above compilation probably indicate the effect of soil stabilization.

On the basis of seedling growth no firm conclusions about the significance of time between ploughing and reforestation could be made.

Discussion

It was difficult to study the importance of soil stabilization after disturbance due to ploughing by means of reforestation experiments, since the effect of soil stabilization was confounded with the weather variation during different years of reforestation, differences in methods, and variation in the quality of the material used for reforestation. To obtain objective results, combinations of ploughing and reforestation experiments have to be replicated over time. To leave the soil unproductive is not economical, of course, unless there are good reasons for doing so. It has commonly been observed that the best combination, according to experimental experiences gained in growing grain, is ploughing in the fall and sowing the next spring. According to **Zehetmayr** (1960), there may even be two winters, but only one growing season, between ploughing and reforestation.

On soil prone to frost heaving reforestation especially sowing, may be postponed for two years. Frost heaving of ploughed soil is reduced over time due to the desiccation of the soil and covering with ground vegetation. On the shoulder frost heaving is also reduced, probably because the strong heaving during the first winter breaks the capillary connections to the deeper soil, thus hindering the rise of water necessary for frost heaving. On fertile sites, however, the rapid development of ground cover and sprouts and their negative effect on reforestation must be considered.

Rain compresses the surface layer of exposed mineral soil (**Kauppila** and **Lähde** 1975); and if it continues for a long time, it may reduce the success of reforestation, especially of sowing. The change in soil fertility during the years after ploughing has not been studied. If, as one may suppose (cf. **Tamm** 1975, **Troedsson** 1976), similar loss of fertility occurs on unforested ploughed areas as on burned areas (e.g., **Huss** and **Sinko** 1969, **Skoglefald** 1973) no time should pass between ploughing and reforestation.

When reforestation is done on the tilts, a few years of soil stabilization may be necessary. When the tilts are decomposed, the water uptake of the seedlings is probably easier since the sharp transition between the tilt and the underlying soil disappears. When the humus is decomposed, the porosity and air capacity are apparently increased. This facilitates the intital development of the roots. With the newest tilt ploughs the tilts are levelled and compressed during ploughing. Thus reforestation on the tilt may be successful even if done immediately after ploughing. This has not yet, however, been confirmed experimentally.

42. Effect of date-of-reforestation during the growing season on success of reforestation and early growth of seedlings

Results of experimental reforestations

When sowing on ploughed areas, the effect of length of the growing season, from the date of sowing to fall and winter, was considerable. In the experimental design the length of the growing season was determined on the basis of the accumulated degree days. In general, sowing was successful on ploughed areas only during early summer. The shortest growing season; i.e., after which fewer degree days markedly impaired the results obtained with the adapted method of band sowing, averaged 500 d.d. (Figure 16). The greatest sowing failure occurred when only 200—300 degree days were left after that time. If the number of degree days was smaller, the success was somewhat better but only in rare cases (1971) as good as when sowing was done in the spring. This was true for both Scots pine and Norway spruce. Keeping the seed saturated with water for six days at +10°C had no noticeable effect on success of sowing. Success was lower (14 percentage points) and variation of success greater in tilt sowing (coeff. var. 0.61) than in shoulder sowing (coeff. var. 0,50).

Success of sowing during mid-summer could be increased by protecting the seed with a special plastic shelter (Figure 17). The minimum number of degree days required for successful shelter sowing seemed to be 300 d.d. from sowing date to the onset of winter. Seed sowed in the fall under a shelter on ploughed soil did not retain its germination capacity until the next spring.

When planting seedlings from cold storage (Section 23) the length of the growing season from reforestation to winter seemed to have the same effect on success as in sowing (Figure 16). The later the seedlings were planted and the shorter the remaining growing season before the onset of winter became, the greater the mortality was. The seedlings endured rather long periods of cold storage and retained their vitality. Spruce in plastic rolls and pine in paper pots were especially durable. Growth of the planted material was, however, always reduced as the remaining growing season became shorter.

When lifting, transporting and planting of seedlings were performed in an uninterrupted sequence, the significance of the length of the remaining growing season was not the same as described previously. The phase that affected results of pine planting was the flushing of buds and beginning of height growth (Figures 18 and 19). No other distinct threshold phases were found. On an average, the later the pine seedlings were planted, the less was the height growth.

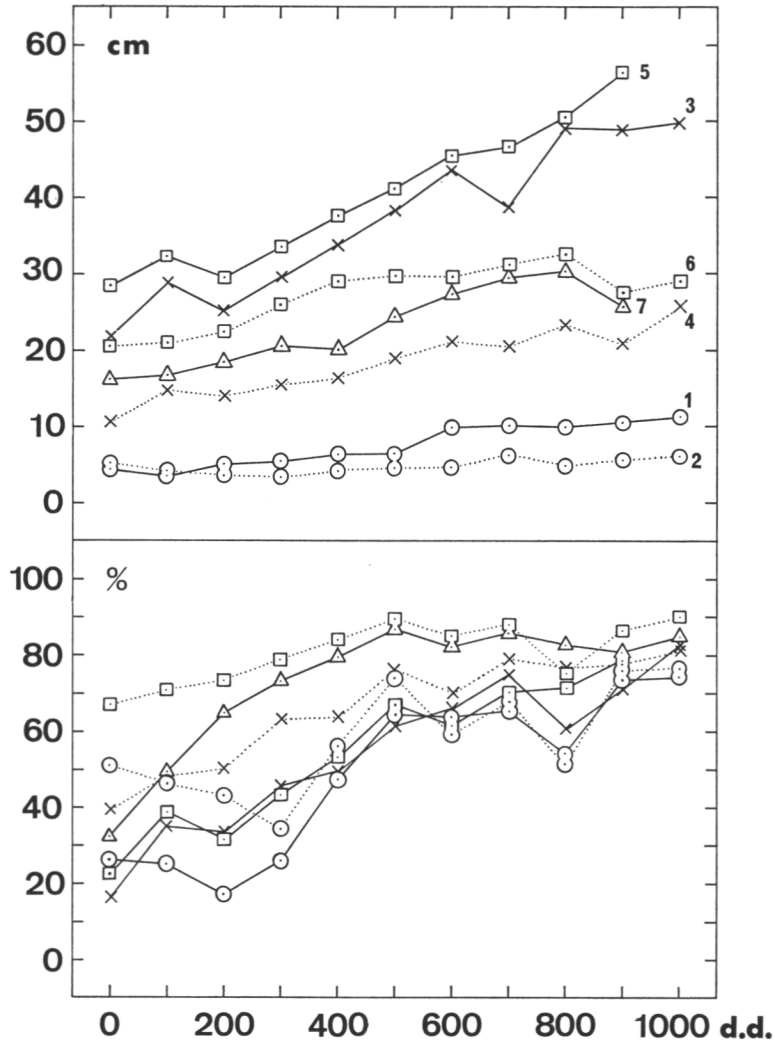


Figure 16. The effect of number of degree days between reforestation and beginning of winter on success of reforestation and height growth of surviving seedlings on areas 18 and 47. Sowing and planting in the spring using seedlings lifted into cold storage during 1970—1972, inventories similarly spaced in 1973—1975. Methods: 1 = band sowing of Scots pine in patches, 2 = band sowing of Norway spruce in patches, 3 = planting of 1M + 1A pine, 4 = planting of 1M + 1A Norway spruce, 5 = planting of 1M + 1Ar Scots pine, 6 = planting of 1M + 1Ar Norway spruce, 7 = planting of 1Mk Scots pine.

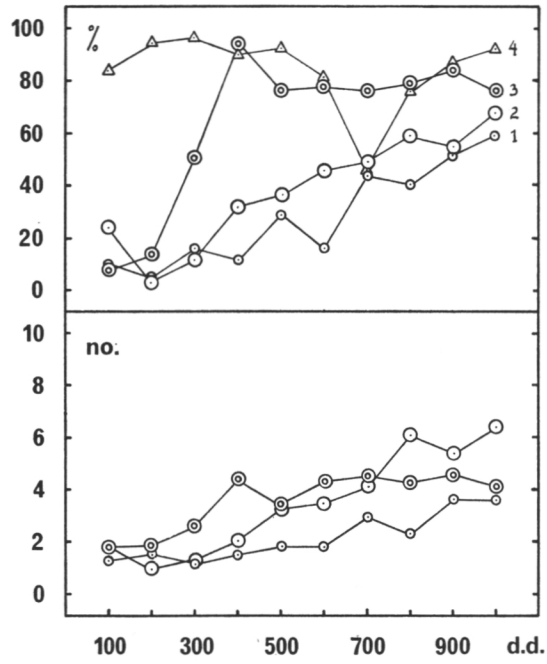


Figure 17. The effect of number of degree days between time of sowing and beginning of winter on stocking of the sowed patches and number of established seedlings on area 10. Sowing methods: 1 = band sowing, 8 seeds/patch, 2 = band sowing, 25 seeds/patch, 3 = shelter sowing, 8 seeds/patch, 4 = control method, 1Mk seedlings planted directly after lifting from nursery. Reforestation in 1973, inventory in the fall of 1974. Tree species Scots pine.

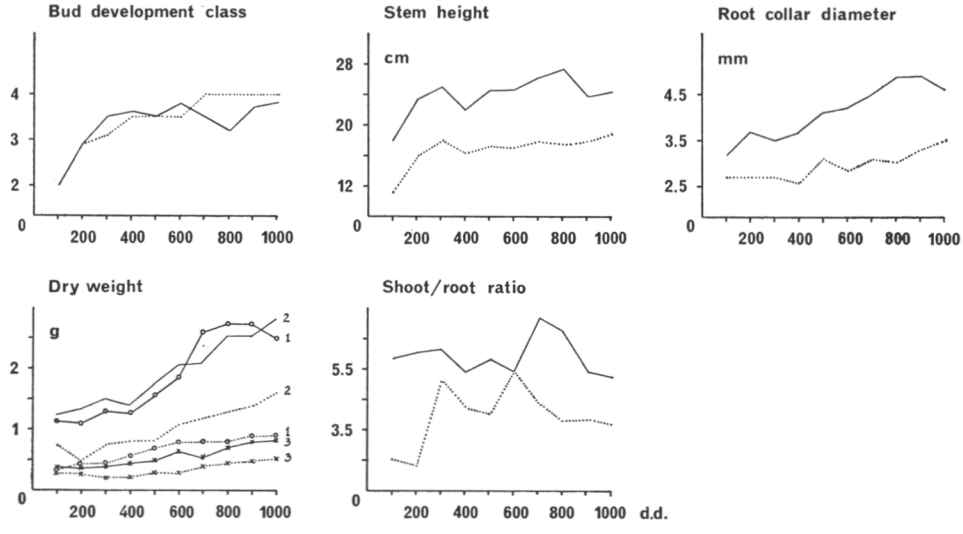


Figure 18. Progress of the growing season in the nursery during 1972. Solid line = Scots pine 1M + 1A, dotted line = Norway spruce 1M + 1Ar. Development classes of terminal bud: 0 = dead, 1 = dormant, 2 = opened, height growth started but the needles are either not visible to the naked eye or are entirely pressed along the shoot, 3 = height growth further than in class 2, needle tips separated from the shoot, 4 = height growth terminated, new terminal bud formed. Dry weights: 1 = needles, 2 = above-ground stem, 3 = root system.

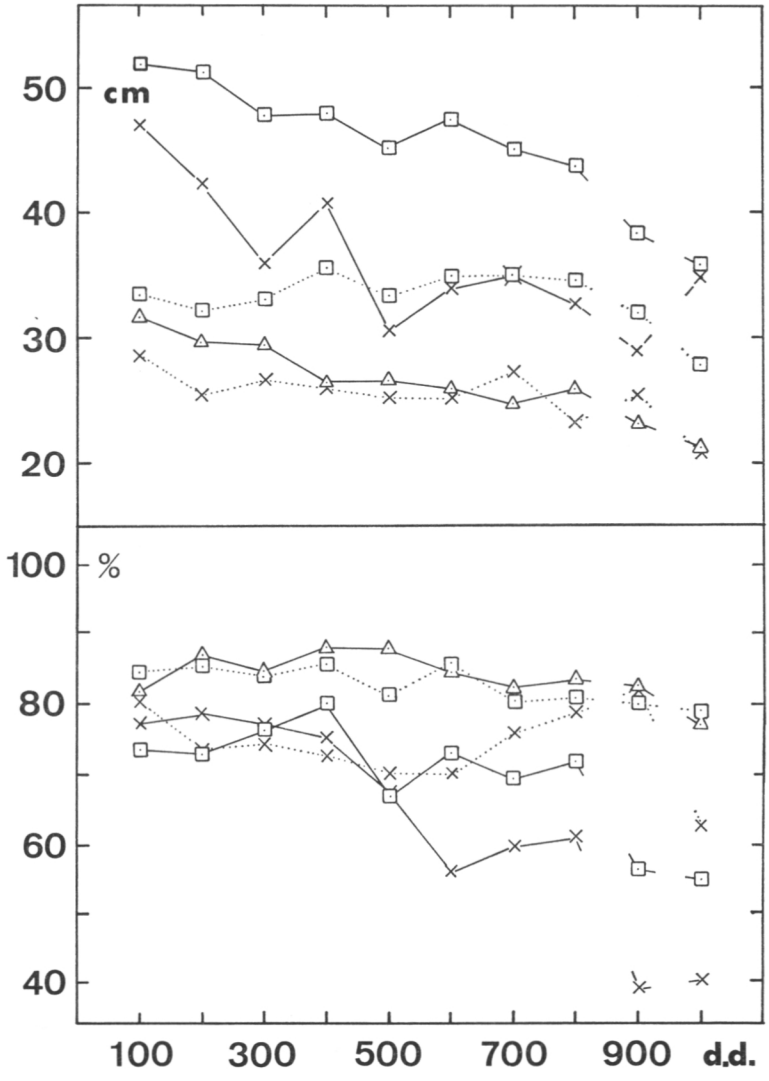


Figure 19. The effects of phase of the growing season on survival of planted seedlings and their height growth on areas 18 and 47, when seedlings were lifted in the nursery immediately before planting. Planting in 1970—1972, inventory similarly spaced in 1973—1975. The full series covers the interval 100—800 d.d. Species and nursery stock legends as in Figure 16.

Height growth ceased, and the terminal bud was usually fully formed in the nursery after about 600—700 degree days. However, seedling weight increased, and the shoot-root ratio was further reduced after this time (Figure 18). Fall planting, even when height growth had ceased, caused reduced growth compared to spring planting. When planting spruce, differences between dates of reforestation, however, remained small.

Differences in survival of seedlings between dates of reforestation were relatively small (coeff. var. 0,20) except in the late summer of 1972, when bare-rooted pine seedlings survived poorer than normal. Especially in tilt planting survival was very inconsistent. The average survival of balled seedlings throughout the growing season was better than that of bare-rooted seedlings (Figure 19).

Discussion

The shortest growing season after which success of sowing with traditional techniques and planting with seedlings from cold storage markedly fell off, averaged 500 d.d. Previously **Kaunisto** (1974) found that on drained peat land, sowing is successful during the whole growing season except for 4—6 weeks between the end of July and the beginning of September. According to **Kaunisto,** the minimum number of degree days necessary for development of the germling is 300—400 d.d., provided that enough moisture is available. Total germination of all seed and development of the germlings requires 500—600 d.d. This agrees well with results obtained in the present study. 500—600 d.d. is apparently the minimum growing season during which all necessary life proscesses for the winter have time for comletion. Note that coniferous timber line in Finnish Lapland, approximately follows the isogram of 550 d.d. At the Sodankylä Climate Station the 67-year records indicate that an average of 500 degree days remain after the first week of July.

When protecting the seed with plastic shelters, success of sowing increased during mid-summer. It has been found that inside the shelter the air is an average of 0,9°C warmer and the growing season about 60 d.d. longer than outside (**Lähde** and **Tuohisaari** 1976). In addition, the relative and absolute air humidity is greater inside than outside the shelter. Shelter sowing was tested in the summer of 1973, which was exceptionally dry (Section 25). Sowing on ploughed areas in the fall, however, seems to be, even in the best circumstances, only an uncertain way of storing seed for the next spring (cf. **Wibeck** 1927).

In several previous studies it has been found that even very short periods of adverse conditions during germination may be quite important (e.g., **Yli-Vakkuri** 1961a,c, **Mørk** 1965). Sometimes the seed remains undamaged during an adverse period and germinates; e.g., in the late summer.

In Lapland delayed germination has been found to occur even after several years (**Sirén** 1952). In general it has been observed, however, that the seeds lose germination capacity and are damaged in the soil very soon after sowing. Germling mortality during the first winter has been found to depend on how adverse the temperature and moisture conditions have been during germination (**Yli-Vakkuri** l.c., **Mørk** l.c.).

Shortening of the growing season decreased success of planting in the same way as that of sowing. This effect could be confounded with the progressive deterioration of the physiological condition of the cold-stored nursery stock (cf. **Yli-Vakkuri** et al. 1968, **Räsänen** 1970). During lifting and transfer to cold storage, the buds of the stock were usually more or less flushed. Based on his experiments, **Heikinheimo** (1934, 1941b, 1954) recommended that planting should be avoided during the time when height growth of trees normally occurs. This recommendation has been difficult to follow when the amount of planting has increased and, especially in Lapland, where summer comes very rapidly.

Changes in weather seemed to be reflected especially in the success of tilt planting. Previously, **Huss** and **Sinko** (1958) found that the success of planting for various times during the growing season was greatly affected by weather conditions and the quality of the site. On peat land satisfactory results have been obtained when planting virtually throughout the growing season (**Päivänen** 1968). According to **Sirén** (1965, 1974) the effect of the reforestation date is smaller when the reforestations are located farther northward.

When lifting, transporting and planting of seedlings are performed in an uninterrupted sequence, the main problem is how careful the transfer from nursery to planting site is and whether the seedlings are in a particularly sensitive phase of development when not even great care can prevent damage (cf. **Leikola** and **Raulo** 1973). There appear to be possibilities for successful planting especially with balled seedlings, throughout the growing season on ploughed sites in Finnish Lapland (cf. **Callin** 1975). Planting after the flushing of buds and beginning of height growth, however, generally seems to cause at least reduction of growth, but also some mortality.

5. METHOD OF REFORESTATION

51. Sowing or planting point on ploughed sites

Results of experimental reforestations

As mentioned above, reforestation was generally more successful on the shoulder than on the tilt. Supported tilts were always avoided in these experiments, and before reforestation the points were always compressed by tramping. These measures did not, however, eliminate mortality of seed and seedlings on the tilt. Some variation occured due to differences in sites and methods of reforestation.

On upland sites sowing was quite satisfactory only on the shoulder (Table 12 and 14). Sowing success on the tilt was increased when band sowing was used and the drill was protected by a piece of wood, or when shelter sowing was used; but even then the results did not equal those of shoulder sowing. The average success of sowing on upland sites was usually 10—30 percentage points less on the tilt than on the shoulder. Sowing on the tilt was most successful on peatlands and swampy upland sites.

As pointed out previously (Section 32), frost heaving was a probable cause of variation in sowing success among various substrates. A sample of seedlings damaged by frost heaving was examined carefully after the first winter on areas 4—6 (Appendix 1). On upland sites the results (Table 13) were almost uniform: frost heaving damaged the most seedlings on the tilts and the fewest in the hoed patches on level ground between ploughed furrows. In contrast, on peatlands the greatest frost heaving was on the shoulders.

Tilt planting was relatively more successful than sowing, especially when large and vigorous seedlings were planted. Even then mortality was considerable (Table 14). Mortality for planted seedlings on the tilt averaged about 10 percentage points more than on the shoulder. Peat-roll seedlings, especially Norway spruce, seemed to be more successful than other types of nursery stock on the tilt.

Height growth of survivors on the tilt was usually greater than that of survivors on the shoulder. Detailed comparison of the distribution suggested that the difference was due mainly to mortality of the slowest growing seedlings on the tilt (Figure 20). Apparently only vigorous seedlings planted on favourable points on the tilt survived and contributed to the average growth. So far, indications of definite growth increase due to that effect of the tilt itself were found only among peat-roll seedlings. In tilt sowing both emergence and initial growth of seedlings was poorer than in shoulder sowing. Combining the best seedling lots of the tilt and shoulder always gave a final result which was better than the separate results on both microreliefs.

Table 12. Success (%) of sowing and height (cm) of dominant seedling in sowed clusters on area 4—6. Sowing in the spring of 1967, inventory in the fall of 1970. Tree species Scots pine.

Area	Sowing point	Patch sowing, covered		Patch sowing, tramped		Band sowing, in patches		Average		HSD for average differences	
		Success	Stem height	Success	Stem height	Success	Stem height	Success	Stem height	Success	Stem height
4. Unburned upland	Shoulder	97,9	12,0	87,5	15,0	87,5	11,7	91,0	12,9		
	Tilt	72,9	7,0	50,0	6,7	85,4	6,4	69,4	6,7	10,4	1,6
	Level ground	89,6	9,7	83,3	10,0	56,3	6,5	76,4	8,7		
	Average	86,8	9,6	73,6	10,6	76,4	8,2			23,0	3,7
5. Burned upland	Shoulder	91,7	12,0	93,8	11,6	91,7	10,9	92,4	11,5		
	Tilt	50,0	7,2	54,2	6,4	60,4	6,1	54,9	6,6	10,3	1,8
	Level ground	100,0	12,1	93,8	11,5	89,6	9,8	94,5	11,1		
	Average	80,6	10,4	80,6	9,8	80,6	8,9			22,4	4,1
6. Peatland	Shoulder	81,3	8,4	66,7	7,2	64,6	9,3	70,9	8,3		
	Tilt	68,8	9,1	75,0	9,6	87,5	11,2	77,1	10,0	14,2	2,4
	Level ground	62,5	5,6	64,6	6,3	62,5	7,2	63,2	6,4		
	Average	70,9	7,7	68,8	7,7	71,5	9,2			30,3	4,7

Table 13. The proportion (%) of sowed seedlings damaged by frost heaving during the first winter on areas 4—6. Sowing in the spring of 1967, inventory in the spring of 1968. Tree species Scots pine.

Area	Sowing point in relation to the furrow	Patch sowing, covered	Patch sowing, tramped	Band sowing, in patches	Average	HSD for average differences
4. Unburned upland	Shoulder	20,8	17,5	17,6	18,6	
	Tilt	58,3	31,4	8,2	32,6	15,4
	Level ground	14,9	6,4	12,4	11,2	
	Average	31,3	18,4	12,7		9,3
5. Burned upland	Shoulder	62,8	44,4	20,0	42,4	
	Tilt	70,6	55,3	32,4	52,8	12,7
	Level ground	7,3	5,7	1,2	4,7	
	Average	46,9	35,1	17,8		21,5
6. Peatland	Shoulder	73,1	66,1	51,2	63,4	
	Tilt	13,0	28,0	3,4	14,8	15,5
	Level ground	18,8	6,9	28,0	17,9	
	Average	35,0	33,7	27,5		14,5

Table 14. Avarage success (%) of sowing and planting on ploughed sites at comparable localities and dates.

Species	Year of refores-tation	Area	Refores-tation point	Sowing in patches, covered	Sowing in patches, tramped	Band sowing	Planting 2A + 1A	Planting 1M + 1A	Planting 1M + 1Ar	Planting 1Mk	Planting 1Mt
Scots pine	1967	4—6	Shoulder	90,3	82,7	81,3	46,5	59,1	50,7	..	..
			Tilt	63,9	59,7	77,8	33,3	55,6	55,6	..	..
	1968	1—6[1])	Shoulder	..	..	63,6	..	..	75,2	..	..
			Tilt	..	..	63,8	..	..	80,7	..	..
	1969	1—3[1])	Shoulder	..	..	88,7	50,0	..	..	..	..
			Tilt	..	..	63,3	45,3	..	..	..	..
	1970	1—3[1])	Shoulder	..	..	88,0	96,0	..	..	..	..
			Tilt	..	..	78,7	86,7	..	..	..	..
	1970	11—48	Shoulder	..	..	74,6	..	73,3	78,4	87,1	..
			Tilt	..	..	55,0	..	54,9	68,0	71,1	..
	1971	11—48	Shoulder	..	..	68,4	..	79,2	..	88,5	..
			Tilt	..	..	53,7	..	71,9	..	78,4	..
	1972	11—48	Shoulder	..	..	76,1	..	68,6	..	..	89,3
			Tilt	..	..	54,4	..	61,8	..	..	81,8
	1972	7—9[2])	Shoulder	..	..	31,0	..	66,0	..	..	..
			Tilt								
	1973	7—9[2])	Shoulder	..	..	68,0	..	82,0	..	..	..
			Tilt								
	1974	7—9[2])	Shoulder	..	..	72,7	..	47,7	..	..	..
			Tilt								
Norway spruce	1971	11—48	Shoulder	..	..	69,8	..	..	91,3	..	..
			Tilt	..	..	44,1	..	..	89,5	..	..
	1972	11—48	Shoulder	..	..	70,9	..	..	85,6	..	..
			Tilt	..	..	57,4	..	..	85,4	..	..
	1972	7—9[2])	Shoulder	..	..	26,0	..	..	90,0	..	..
			Tilt								
	1973	7—9[2])	Shoulder	..	..	48,0	..	..	93,0	..	..
			Tilt								
	1974	7—9[2])	Shoulder	..	..	52,7	..	..	93,3	..	..
			Tilt								

[1]) Burned areas excluded. [2]) Nurse-crop areas excluded.

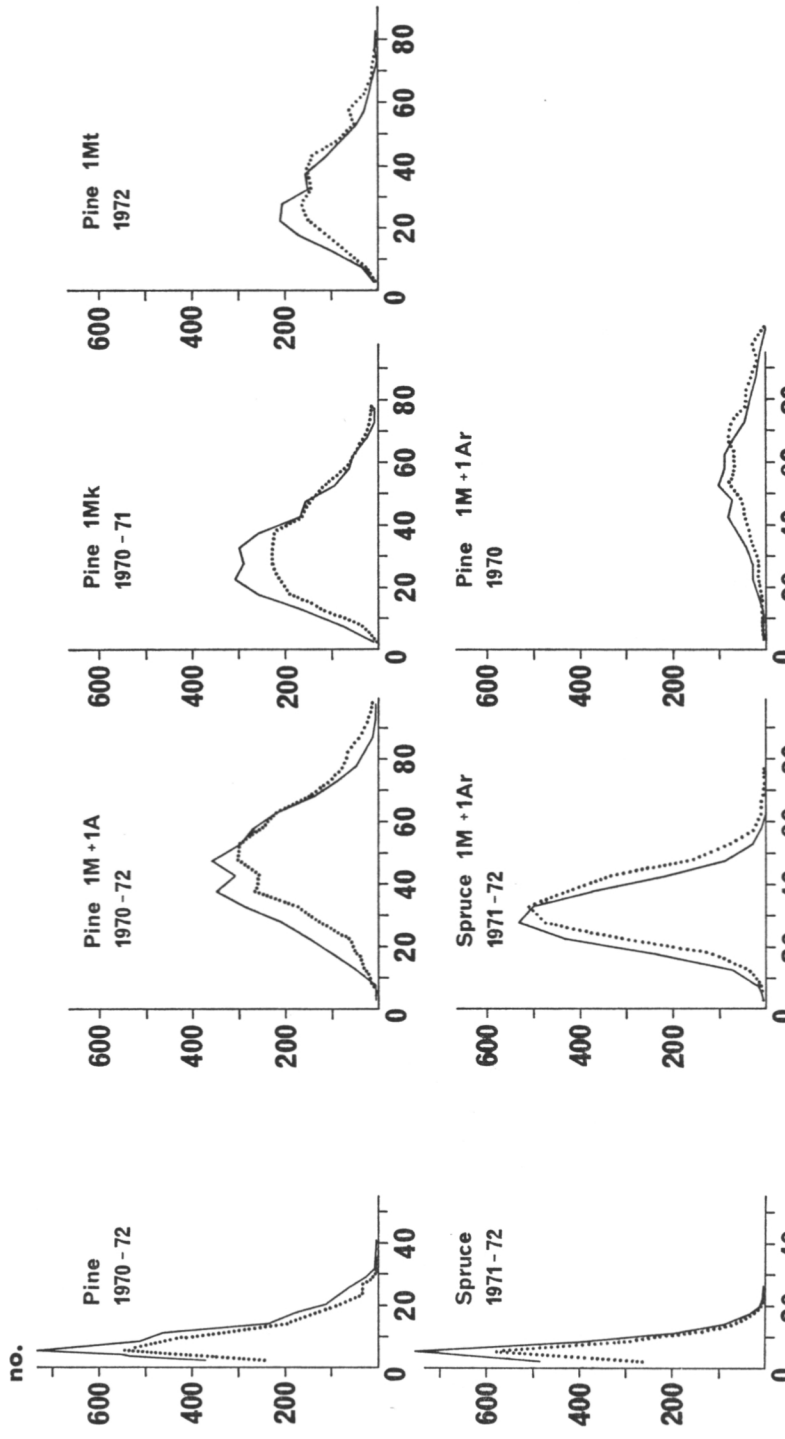


Figure 20. Frequency of height classes of surviving seedlings on shoulders (solid line) and tilts (dotted line) on areas 11—48. Reforestation in the springs of 1970—1972, inventories four growing seasons after reforestation. In the sowed patches only the dominant seedlings were measured.

Tilt thickness somewhat affected the results of tilt planting. On areas 1—3 (Appendix 1), where the effects of prescribed burning and ploughing were studied, the effect of tilt thickness on height growth was similar on burned and unburned sites, but there were differences in survival (Figure 21). Mortality on burned sites seemingly was due to immediate contact between the roots and ashes (cf. Section 32). Seedlings grew best on 10—20 cm thick tilts. When seedlings were measured, the tilts had been settled for four years. On the shoulder the seedlings grew best when they were planted as far as possible from the furrow (Figure 22).

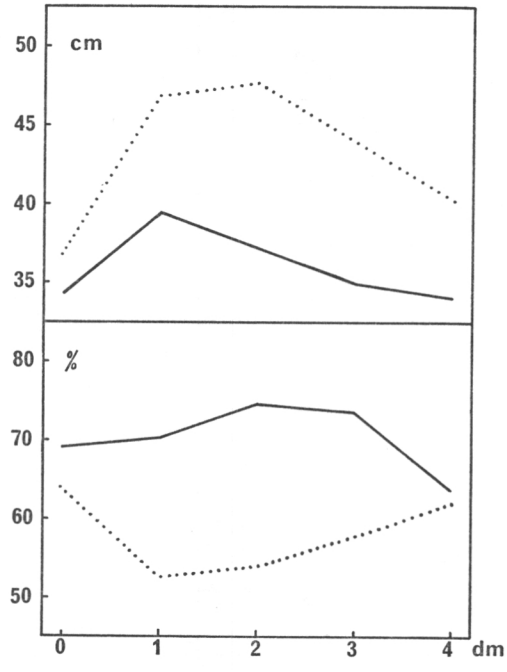


Figure 21. The effect of thickness of tilt on survival of planted seedlings and their height growth on areas 1—3. Solid line = unburned, dotted line = burned. Ploughing in 1968, planting in 1968—1970, measurements in 1972.

On areas 1—3, where the furrows were made east-west, the success on the sowing points varied according to exposure (Figure 23). The sowings made during the cold summer of 1968 were better on the sunny side compared to the shady side. Corresponding differences were not found for survival of planted seedlings, but the growth of the survivors were better on the sunny side (Figure 23). The differences between the sunny and shady sides of the

microreliefs became larger with increasing age of the seedlings. Also, corresponding differences were found for seedlings planted on the tilts. The differences due to exposure were of the same magnitude as the average differences due to soil treatment.

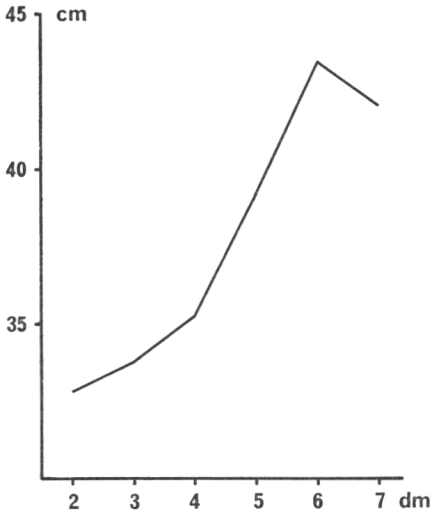


Figure 22. Regression of height growth of planted pine seedlings on distance from ploughed furrows on areas 1—3.

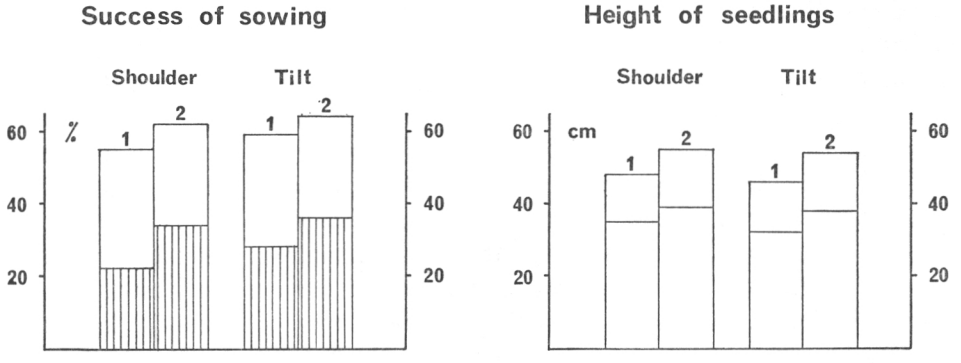


Figure 23. The effect of exposure on success of sowing and height growth of surviving planted seedlings in the cold summer of 1968 on areas 1—3. 1 = shady side, 2 = sunny side. Lined bar = more than 5 seedlings in the patch. The last terminal of planted seedlings indicated by a horizontal line. Tree species Scots pine.

Discussion

Other reforestation experiments on areas treated with methods similar to ploughing have produced variable results depending on the amount of moisture on the site. Planting on the tilt has given good results on water-

logged sandy and clay soils (**Armson** 1958, **Wilde** and **Voigt** 1959, **Mac Arthur** 1964, **Mac Leod** 1964). In contrast, on dry sites the best results have been obtained when planting in the furrow (**Wilde** and **Albert** 1942, **Zehetmayr** 1960, **Cayford** and **Jarvis** 1963). **Popedinsky** (ref. **Etholén** 1966) found that the best sowing point on dry uplands was on the bottom of the furrow, and on moist uplands and peatlands the tilt was best. **Heikinheimo** (1940b) found that the best sowing point on upland of the *Vaccinium vitis-idea* site type in South Finland was at the bottom of the furrow made by a field plough (cf. **Yli-Vakkuri** 1961c). Good results on peatlands have repeatedly been obtained with turfplanting (**Lukkala** 1934, **Heikurainen** et al. 1966).

According to a Canadian study (**Lyford** and **Mac Lean** 1966), in a humid climate volunteers grow better in the long run on mounds than in depressions. Similar findings have been made in the subalpine spruce forests in Switzerland (**Eichrodt** 1969).

The tilt provides a porous substrate where the air exchange is better and the mechanical obstacles for root growth are fewer than in pure mineral soil (**Kauppila** and **Lähde** 1975, **Mutka** and **Lähde** 1977). The tilt is also a warm substrate (Section 31). Soil components are turned into the tilt both from the eluvial A-horizon and illuvial B-horizon, and a douple humus layer is decomposed under the tilt.

Theoretically, therefore, reforestation on the tilt appears to be an attractive method in Lapland. These results indicated, however, that performance of seedlings in this study did not meet particularly well with theoretical expectations. Practical ploughing operations seldom produce a firm and uniform tilt, and therefore the whole question of sowing or planting point is often purely academic. In general, the problem is rather whether points other than those on the shoulder can be used for reforestation. The newest tilt ploughs may produce a better tilt, but on normal, more or less stony reforestation areas with slash the production of a useful tilt is certainly always uncertain. Findings about the effect of tilt thickness corroborate results from some studies in the Soviet Union (**Stratonovich** 1966, p. 34—37).

The main reasons for greater success of seedlings on the shoulder probably were the more even temperatures and moisture conditions on this microrelief. In addition to drought, the maximum temperatures on the tilt were so high (Section 31) that some mortality due to heat, at least among germinating seed, was possible (**Vaartaja** 1954a, **Yli-Vakkuri** 1961a,c).

Frost heaving was an important cause of variation in sowing success between points on the microrelief. Capillary rising of water, the most important prerequisite for frost heaving, is different on peatlands and uplands (**Aaltonen** 1940, p. 154) and probably accounts for the observed differences in seedling damage on the two sites. When planting seedlings on the shoulder

as far as possible from the furrow, frost heaving, erosion, and snow probably do not lodge the seedlings as easily as close to the furrow.

When the direction of the furrows varies, the exposure of produced microreliefs to insolation also varies. Parallel exposure effects as those in the present study have been found previously in plantings close to stones and stumps (**Valtanen** 1967).

52. Comparison of sowing and planting methods

Results of experimental reforestations

The largest experiment for comparison of sowing methods on ploughed sites was established in the summer of 1967 which, due to temperature and humidity (Section 25), was favourable for germination of seeds and initial development of seedlings. Differences in results between the methods remained small and they varied among various areas and among microreliefs (Table 12). Covering of the seed significantly improved the results only on area 4, which was unburned upland (Appendix 1). In the uncovered patch sowing, where the seeds were only lightly tramped, the initial development of the seedlings on unburned upland was slightly faster than with other sowing methods. Modified band sowing, where a piece of wood was placed to the south of the drill (cf. original band sowing according to **Melders** 1929), produced on an average a somewhat poorer result than covered patch sowing. On the tilt this method was, however, better than the other methods. Previously (Section 42) it was shown that the shelter-sowing method, even with small amounts of seed, was clearly more successful than band sowing.

The sowing results of Norway spruce varied in the same way as did those of Scots pine. In the nurse-crop experiment, where the seed for the two species was of excellent quality and were from about the same provenance, spruce sowing gave much poorer results than pine sowing (Table 11). In the date-of-reforestation experiment (Figure 16) and in the large experiment (areas 11—48) comparing methods of reforestation on ploughed sites (Table 14), spruce sowing gave a somewhat better average success than pine sowing. In these experiments the quality of spruce seed was much better than that of pine seed (Section 22).

In the planting experiments various types of seedlings were compared on ploughed sites. The method of planting was chosen according to type of seedling (Section 23). The results varied considerably according to time and site. A general increase in survival and growth from the 1960's to the 1970's was found (Figure 24). For planting of bare-rooted and plastic-roll pine seedlings there was a significant postitive correlation ($P < 0{,}05$) between survival and the number of degree days for the last summer in the nursery (Figure 25). The temperature during the summer when the seedlings were planted and during subsequent summers had no noticeable direct effect on success in this study.

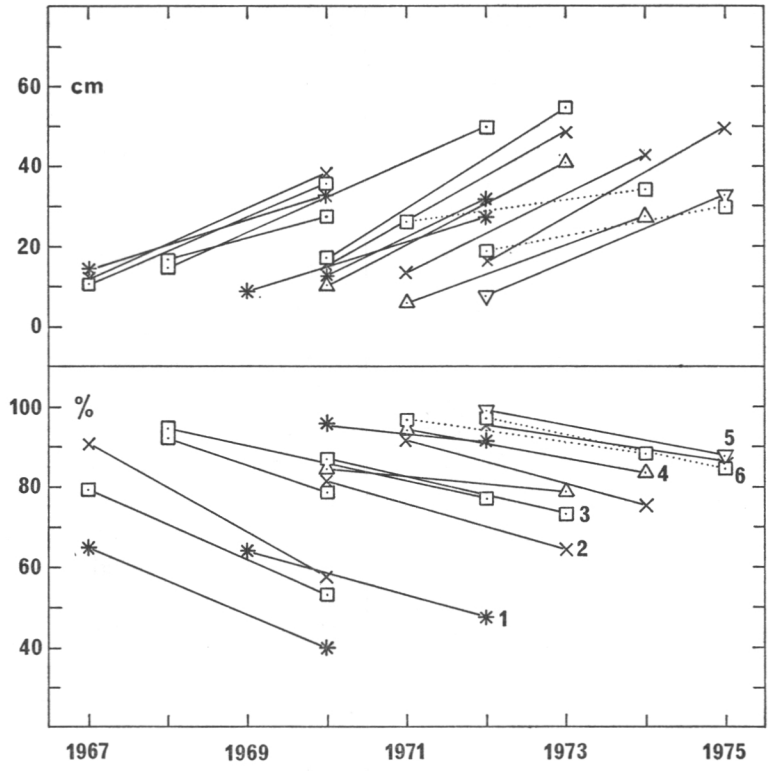


Figure 24. Development of height growth and survival of seedlings planted during different years on ploughed sites. Species and type of nursery stock: 1 = Scots pine 2A + 1A, 2 = Scots pine 1M + 1A, 3 = Scots pine 1M + 1Ar, 4 = Scots pine 1Mk, 5 = Scots pine 1Mt, 6 = Norway spruce 1M + 1Ar.

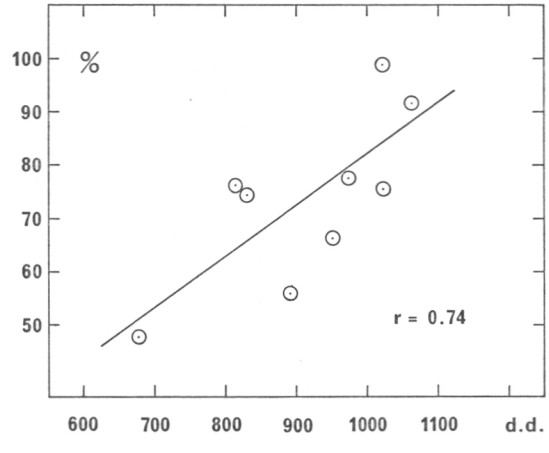


Figure 25. Regression of survival of planted 2A + 1A and 1M + 1Ar Scots pine on number of degree days of the last growing season in the nursery.

A very clear and consistent ranking of the types of seedlings was so far not found. Of the seedlings planted in 1967 on areas 4—6 (Appendix 1), the bare-rooted 1M + 1A performed best; second best were the 1M + 1A plastic-roll seedlings; and poorest were the 2A + 1A bare-rooted seedlings. The plastic-roll seedlings planted on the same areas during the next year performed markedly better than the previous year in spite of the cold planting summer. In the date-of-planting experiments the balled seedlings survived better on an average than the bare-rooted seedlings (Figures 16 and 19). The same was the case in the largest experiment (areas 11—48) for comparing types of seedlings. The highest survival was obtained with the 1Mk paper-pot seedlings and the 1Mt peat-pot seedlings (Figure 24). On the tilts the plastic-roll seedlings performed realtively best in all experiments (Table 14).

So far hardly any other systematic differences in height growth between types of seedlings were found than those due to differences in initial height (Figure 26). The number of degree days for the growing season also affected

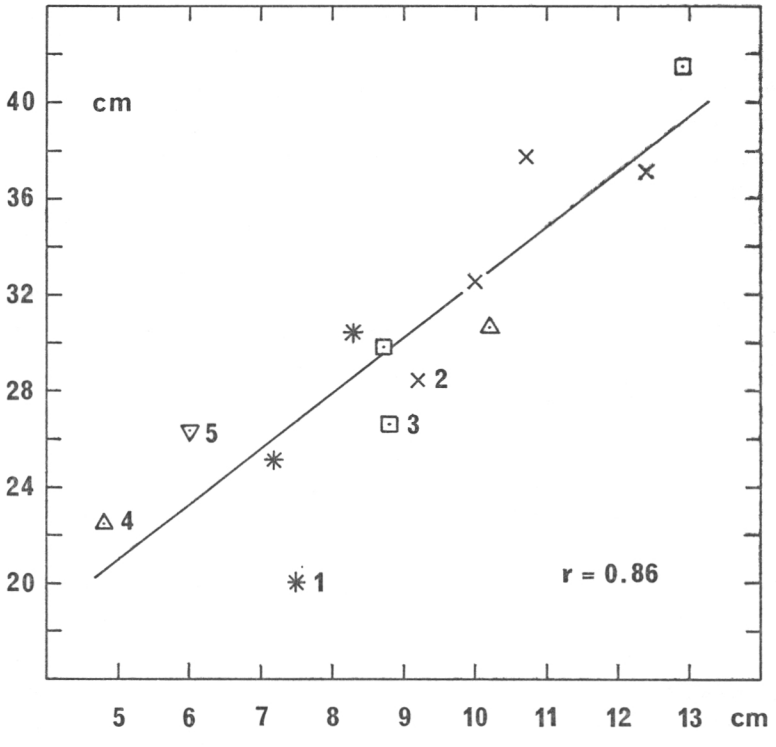


Figure 26. Regression of four years height growth of planted Scots pine on stem height immediately after planting. Nursery stock legends as in Figure 24.

differences in growth ($P < 0{,}01$). Height growth of Scots pine after planting was predicted rather well by the model:

$$y = -18{,}4 + 2{,}07x_1 + 0{,}0118x_2$$

where y = estimated height growth during four growing seasons after planting, cm
x_1 = stem height excluding terminal bud immediately after planting, cm
x_2 = total number of degree days for three growing seasons after planting, d.d.

The model explained 83 % of the variation in height, and the standard deviation of the estimate was 0,8 cm.

A detailed analysis of differences in growth was difficult due to variation in mortality and the resulting culling of the material. Culling certainly had already occurred when the seedlings were transplanted in the nursery (cf. **Leikola** and **Raulo** 1972). In some cases a potential source of variance was the difference in seed provenances (Section 22).

Planting of Norway spruce was clearly more successful than planting of Scots pine (Tables 11 and 14, Figures 16 and 19). Height growth for spruce seedlings was much slower than pine even on ploughed sites. Siberian larch survived very well (ca. 90 %). Silver birch planted on the most fertile sites also survived rather well (70—90 %), but the plants were often eaten by hares and reindeer.

In experiments established on ploughed sites with sowed or planted Scots pine there were no systematic differences in success of reforestation. For Norway spruce, planting was clearly more successful than sowing. The differences were demonstrated by the following averages for success (%) and their standard errors calculated from Table 14:

	Sowing	Planting
Scots pine	69,3 ± 3,1	68,4 ± 3,0
Norway spruce	52,7 ± 5,9	89,7 ± 1,2

In a detailed analysis according to experimental area no clear effects of site on the relative success of sowing and planting were shown so far. The average height growth of sowed pine seedlings during the four first growing seasons corresponded well to the value obtained for growth of planted seedlings by extrapolating the regression of height growth on initial height.

Discussion

The traditional method of reforestation in Lapland is sowing. The humidity, scarcity of ground cover, and the rapid initial development of the main tree species, Scots pine, have provided relatively good prerequisites for sowing. Ploughing makes the conditions of the site more extreme (Section 31). This was found to affect success of sowing (Section 32 and 33) with the result that, in general, sowing success varied considerably on ploughed sites. In preparation of the sowing patch many technical details, to which much attention had previously been given (e.g., **Tirén** 1953), may really be insignificant on ploughed sites.

Covering the seed with 0,5—1,0 cm of soil has usually given good results (cf. **Arnborg** 1950, **Sirén** 1952, **Tirén** l.c., **Yli-Vakkuri** and **Räsänen** 1971). On a ploughed site there are many mobile soil components which, during suitable winds and rains, presumably may also cover the exposed seeds. The differences in results obtained by various sowing methods have been completely masked by variations in temperature and humidity in several other studies (e.g., **Mørk** 1965).

The piece of wood placed to the south of the drill is a primitive shelter which reduces extremes of temperature and humidity (**Sirén** 1957); and therefore, i.a., frost heaving is reduced. This phenomenon has been found in many other studies (**Wibeck** 1920, **Heikinheimo** 1932, **Sirén** 1952). The method is by no means a good solution since the piece of wood reduces the amount of heat reaching the germinating seed and developing germlings. Even a carefully placed piece of wood rolls onto the seedling easily (cf. **Sirén** l.c.). Modern shelter sowing, where protection is given by a specially constructed plastic cone (**Lähde** 1974b), seems to be biologically a better solution (Section 42).

Earlier experiences with sowing of Norway spruce in Lapland as well as in South Finland were unfavourable (**Heikinheimo** 1941a, **Pohtila** 1972b). Initial development of spruce seedlings is severely retarded by ground cover. On ploughed areas in Lapland such cover is virtually absent initially. Therefore the possibilities for good development of sowed spruce are considerably better than before. The germinative capacity of pine and spruce seed is nearly the same (**Yli-Vakkuri** 1961c); due to the initially slow development, however, sowed spruce apparently suffers more from the environmental extremes on ploughed areas than sowed pine does.

The factor directly causing differences in the planting results was apparently the variation in seedling quality and physiological condition at the time of planting (cf. **Yli-Vakkuri** 1957, **Räsänen** 1970, **Huuri** 1973). Due to incompleteness of the quantitative measurements, this cause and effect relationship could not be directly demonstrated by regression analysis.

The observed positive correlation between survival of seedlings and the temperature sum during the last summer in the nursery is probably based on improving the quality of the nursery stock. When modern plastic greenhouses were used for seedling production, the results no longer were directly affected by the weather conditions. In these greenhouses good nursery stock may also be produced during cold summers.

The variation in seedling quality and physiological condition at the time of planting may be related to the type of seedling. Thus the results should indicate clear differences between types. The superiority of the balled seedlings probably was due mainly to the protection of the root system by the ball during all phases of the planting operations and even after planting. When planting balled seedlings, it is mainly a transfer of the nursery stock.

The quality of the container wall affects the formation of the root system of balled seedlings (**Lähde** and **Kinnunen** 1974, **Callin** 1975). It is not yet known how detrimental the deformation of the root system may be for the developing tree on ploughed sites. In the damage on plantations in the 1960's deformation of the root system seemed to be important (**Lähde** and **Siltanen** 1973, **Lähde** 1974a). Decomposition of organic material is slow in the climate of Lapland, and therefore the paper and peat walls of the containers may form a strong barrier for root expansion. The plastic-roll seedlings are intermediate between bare-rooted and balled seedlings where this is apparently no danger, especially not when planted on the tilt (**Mutka** and **Lähde** 1977). When the experiments become older, the role of root deformation should be elucidated.

Planting of spruce was relatively more successful than planting of pine. Thus the old opinion that spruce is a better species for planting was substantiated.

The average height growth of planted seedlings during the first growing seasons was strongly dependent on the initial height of seedlings. When the differences in survival between various types of seedlings are small, the rapidity of reforestation seems to be decisively dependent on the initial height of the seedlings. The taller the planted seedlings, the sooner a site becomes stocked (cf. **Heikinheimo** 1940a, 1941b).

The relative success of sowing and planting corresponded well to previous experiences gained before ploughing became common. In the inventories of Lapland's pine reforestation areas the differences between sowing and planting were found to be rather small after the damage years in the 1960's (cf. **Solin** 1970, **Valtanen** 1970, **Etholén** 1972). In northern Sweden pine sowings generally succeeded somewhat better than planting before ploughing became common (**Bärring** 1963). Also, the results now obtained with spruce correspond to previous experiences (**Pohtila** 1972b).

It is difficult to assess whether the variation in the quality of the nursery

stock and seed in the comparisons made above provided a representative sample of the total variation possible in such material. In some cases there were different provenances when comparing sowing and planting (Section 22). The quality may, at least in some cases, be replaced by quantity. For sowing the correlation between emergence of germlings and the amount of seed has been demonstrated in several studies (**Eneroth** 1945, **Sirén** 1952, **Tirén** 1952, **Yli-Vakkuri** and **Räsänen** 1971). For planting the corresponding possibility has been investigated less extensively (**Yli-Vakkuri** 1968). The more seed and nursery stock are used, the more material is available for natural selection.

The natural sites for planting have been regarded, from a biological point of view, to be moist fertile sites where the ground cover is a severe threat to success of reforestation, and on the other hand, barren sites where drought has been a limiting factor. In the present study no clear effects of site on the relative success of sowing and planting were observed. Ploughing is recommended particularly for moist sites. It is uncertain, however, if, in general, there are reasons or even possibilities to distinquish between dry and moist sites within climatic conditions of Lapland (cf. **Sarvas** 1952, **Viro** 1962). In praxis sites classified as dry forest site types are also ploughed (Section 21). Ploughing obviously decreases the differences between sites. On the most fertile sites the choice of sowing or planting is influenced by the possibilities for using herbicides and arboricides.

Sowing succeeded satisfactorily on ploughed sites only in early summer. In the best cases planting succeeded throughout the summer (Section 42). Sowing is, however, faster than planting. Thus the shortage of time available in the spring is not necessarily important. By using shelter sowing, the role of date-of-reforestation in the choise between sowing and planting becomes even smaller. In praxis the choice between sowing and planting apparently will be an optimisation problem.

6. COMPLEMENTARY ANALYSES OF CAUSAL RELATIONS

Results of analyses

The site variables from areas 11—48 (Appendix 1) were analyzed factorially (Section 26). The factors can be interpreted on the basis of their loadings obtained in the analysis (Table 16). The communality (the sum of squares of loadings of uncorrelated common factors), which indicates what portion of the variance for each variable is explained by factors, varied from 0,48 to 0,94. The lowest communality was obtained for thickness of the B-horizon.

The first factor »Southern Location» clearly represented the location of the area (Figure 6). With increasing northern latitude the elevation increased, and the number of degree days decreased (Table 15). Note also the positive correlation between thickness of the A-horizon and the first factor (Table 16).

The second factor »Admixture of Birch» described the species composition of the previous forest. The longer the elapsed time since the area was clear cut, the more pine and the less birch and spruce grew in the previous forest. The largest positive loading in this factor, which was named accordingly, was for birch.

Based on its loadings, the third factor was a clearly defined »Humidity» factor. In addition to large annual differences in humidity, there were also considerable differences between areas. The negative loading of the number of degree days was small compared to the highest loadings.

The fourth factor was named the »Nurse Crop» factor due to the variable with the highest loading. The shorter the time elapsed from clear cutting, the more common it had been to save remnant trees as a nurse crop. For this factor there were still considerable loadings for inclination of the slope, correlation coefficient —0,67, and for the amount of fine soil fractions, correlation coefficient 0,41.

Stoniness of the soil and its correlated variables formed the fifth natural factor. The negative correlation, —0,53, for the amount of fine soil fractions and the positive correlation, 0,44, for the thickness of the A-horizon indicated that this factor also described soil permeability to some extent.

A sixth, clearly separated factor »Spruce Dominance» was formed by three positively inter-correlated variables: spruce dominance in the previous forest, thickness of the humus layer, and thickness of the soil horizons. The amount of fine soil fractions was negatively correlated with spruce dominance

Table 15. Correlation matrix for variables describing site and reforestation results with Scots pine on areas 11—48. The results were measured four growing seasons after reforestation.

Variable	Number of variable																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1. Distance to area, km	1,00																
2. Elevation, m	0,81	1,00															
3. H-layer, cm	−0,09	−0,05	1,00														
4. A-horizon, cm	−0,51	−0,42	0,25	1,00													
5. B-horizon, cm	−0,11	−0,07	0,40	0,24	1,00												
6. Stoniness, %	−0,22	0,10	−0,16	0,16	0,13	1,00											
7. Proportion of fine soil fraction, %	0,03	−0,12	−0,04	−0,32	−0,16	−0,19	1,00										
8. Inclination of slope, °	−0,22	−0,04	0,13	0,31	0,06	0,08	−0,25	1,00									
9. Proportion of pine, %	0,01	−0,23	−0,19	−0,27	−0,28	0,08	0,13	−0,08	1,00								
10. Proportion of spruce, %	−0,10	0,14	0,20	0,37	0,35	−0,07	−0,22	0,11	−0,91	1,00							
11. Proportion of birch, %	0,21	0,21	0,01	−0,18	−0,14	−0,05	0,19	−0,07	−0,31	−0,11	1,00						
12. Time from clear cutting, yrs	0,09	0,10	0,04	−0,27	−0,20	−0,17	−0,12	0,02	0,46	−0,33	−0,34	1,00					
13. Remnant trees, no/ha × $\bar{h}$	0,28	0,02	0,13	0,12	0,03	0,14	0,06	−0,38	0,04	0,02	−0,14	−0,41	1,00				
14. Degree days, d.d.	−0,84	−0,83	0,01	0,44	0,09	−0,21	−0,03	0,28	0,06	0,02	−0,19	−0,02	−0,29	1,00			
15. Precipitation, mm	0,21	0,11	0,02	−0,08	−0,06	0,01	−0,08	0,06	0,10	−0,09	−0,04	0,16	0,02	−0,22	1,00		
16. Precipitation at time of reforestation, mm	0,05	0,03	−0,01	−0,11	−0,09	0,04	0,13	−0,05	0,06	−0,08	0,05	0,09	−0,06	−0,17	0,46	1,00	
17. Humidity, mm/°C	0,47	0,81	−0,01	−0,23	−0,07	0,11	−0,02	−0,07	0,08	−0,11	0,06	0,10	0,12	−0,53	0,90	0,53	1,00
Sowing																	
Success (%) on shoulder	−0,21	−0,07	−0,21	0,08	−0,03	−0,10	−0,17	0,22	−0,21	0,33	−0,25	−0,09	−0,12	0,14	−0,08	0,06	−0,13
Success (%) on tilt	−0,08	0,08	0,27	0,19	0,20	−0,01	−0,19	0,23	−0,23	0,23	0,02	−0,21	0,08	0,04	−0,02	−0,08	−0,08
Stem height (cm) on shoulder	−0,30	−0,09	0,16	0,35	0,10	−0,25	−0,26	0,31	−0,47	0,51	−0,05	−0,28	−0,03	0,29	−0,39	−0,28	−0,47
Stem height (cm) on tilt	−0,24	−0,10	0,28	0,43	0,19	−0,17	−0,25	0,24	−0,55	0,55	0,05	−0,31	0,04	0,24	−0,26	−0,17	−0,32
Shoot length (cm) on shoulder	−0,29	−0,10	0,11	0,32	0,09	−0,23	−0,25	0,29	−0,41	0,47	−0,09	−0,24	−0,04	0,30	−0,43	−0,26	−0,51
Shoot length (cm) on tilt	−0,17	−0,06	0,20	0,38	0,16	−0,09	−0,20	0,16	−0,47	0,50	−0,02	−0,29	0,09	0,17	−0,32	−0,09	−0,33
Planting 1M + 1A																	
Success (%) on shoulder	−0,37	−0,19	0,06	0,33	0,03	−0,12	−0,10	0,33	−0,21	0,20	0,04	−0,24	−0,18	0,33	0,03	−0,24	−0,16
Success (%) on tilt	−0,35	−0,21	0,20	0,33	0,13	−0,26	0,02	0,29	−0,25	0,23	0,06	−0,07	−0,07	0,34	0,23	−0,07	0,03
Stem height (cm) on shoulder	−0,44	−0,16	−0,06	0,26	0,17	−0,27	−0,20	0,32	−0,37	0,47	−0,19	0,01	−0,29	0,38	−0,13	0,01	−0,25
Stem height (cm) on tilt	−0,25	−0,08	0,08	0,15	−0,03	−0,40	−0,03	0,25	−0,29	0,03	0,09	0,09	−0,23	0,27	−0,07	0,09	−0,15
Shoot length (cm) on shoulder	−0,39	−0,16	−0,13	0,23	0,05	−0,22	−0,18	0,30	−0,29	0,39	−0,19	−0,22	−0,24	0,43	−0,35	−0,22	−0,48
Shoot length (cm) on tilt	−0,23	−0,06	0,02	0,20	−0,08	−0,26	−0,07	0,22	−0,25	0,26	0,01	−0,12	−0,18	0,30	−0,36	−0,12	−0,42
Planting 1Mk and 1Mt																	
Success (%) on shoulder	0,09	0,22	−0,08	0,02	0,06	−0,01	−0,06	0,26	−0,33	0,22	0,27	−0,16	−0,10	−0,08	0,18	0,10	0,18
Success (%) on tilt	−0,15	−0,06	0,22	0,22	0,06	−0,17	−0,04	0,14	−0,31	0,22	0,22	−0,16	0,01	0,12	0,28	0,22	0,22
Stem height (cm) on shoulder	−0,35	−0,16	−0,11	0,20	0,06	−0,12	−0,28	0,33	−0,18	0,23	−0,09	0,06	−0,30	0,43	−0,46	−0,22	−0,56
Stem height (cm) on tilt	−0,23	−0,13	0,01	0,16	−0,01	−0,12	−0,11	0,28	−0,15	0,13	0,05	0,04	−0,25	0,34	−0,43	−0,20	−0,47
Shoot length (cm) on shoulder	0,09	−0,09	−0,10	0,08	−0,01	−0,04	−0,08	0,15	−0,06	0,09	−0,06	0,02	−0,14	0,34	−0,63	−0,72	−0,73
Shoot length (cm) on tilt	0,08	−0,04	−0,00	0,05	−0,00	−0,03	0,02	0,09	−0,08	0,08	−0,03	−0,01	−0,10	0,27	−0,63	−0,68	−0,69

Table 16. Rotated factor matrix on general characteristics of areas 11—48.

Variable	Factor						Communality after 6 factors
	1	2	3	4	5	6	
1. Distance to area, km .	—0,91	0,01	0,14	0,19	0,09	—0,10	0,90
2. Elevation, m	—0,94	0,10	0,03	—0,13	0,05	0,07	0,92
3. H-layer, cm	0,05	—0,18	0,07	0,10	—0,27	0,68	0,59
4. A-horizon, cm	0,57	0,09	—0,04	—0,07	0,44	0,45	0,73
5. B-horizon, cm	0,09	—0,06	—0,06	0,09	0,12	0,67	0,48
6. Stoniness, %	—0,11	0,03	0,04	0,09	0,82	—0,14	0,71
7. Proportion of fine soil fraction, %	0,09	0,25	0,05	0,41	—0,53	—0,33	0,62
8. Inclination of slope, °	0,20	0,00	0,05	—0,67	0,26	0,11	0,58
9. Proportion of pine, %	0,12	—0,69	0,08	0,20	0,02	—0,63	0,94
10. Proportion of spruce, %	—0,04	0,41	—0,10	—0,18	0,07	0,76	0,80
11. Proportion of birch, %	—0,21	0,71	0,04	—0,06	—0,22	—0,23	0,65
12. Time from clear cutting, yrs	—0,18	—0,75	0,08	—0,38	—0,29	—0,16	0,86
13. Remnant trees, no/ha $\times \bar{h}$	—0,09	—0,00	0,02	0,84	0,27	0,18	0,82
14. Degree days, d.d.	0,89	—0,06	—0,21	—0,24	—0,08	0,01	0,90
15. Precipitation, mm	—0,10	—0,12	0,91	—0,07	0,06	0,03	0,85
16. Precipitation at time of reforestation, mm .	0,03	0,08	0,76	—0,00	—0,10	—0,10	0,61
17. Humidity, mm/°C	—0,37	—0,04	0,89	0,07	0,08	—0,02	0,94

and received a slight negative loading in the factor. The negative correlations for pine and birch dominance with this factor were technical.

By inspection of the correlation coefficients between criterion variables and the factor scores one may draw conclusions about the importance of differences between sites (Table 17). When the independent variables are not correlated with each other (Section 26), these coefficients are also partial correlation coefficients, directly indicating the net amount of explanation for each variable.

The correlations for sowing and planting were remarkably similar. The southern location and its associated climatic and edaphic factors were indicated by the more successful reforestation results. The northerly location resulted in increased transport distance for both seeds and seedlings, and this may have been a small partial cause for decreasing success, especially of planting, on the more northerly areas.

The amount of birch admixed in the previous forest also seemed to improve the reforestation results, but it was not possible to confirm this. In addition to species composition, the age of the clear-cut area was an important variable

Table 17. Correlation coefficients for factor scores and variables for reforestation results with Scots pine on areas 11—48. Reforestation results measured four growing seasons after reforestation.

Reforestation method	Reforestation point	Factor 1. »Southern Location»	2. »Admixture of Birch»	3. »Humidity»	4. »Nurse Crop»	5. »Stoniness»	6. »Spruce Dominance»
				Success			
Sowing	Shoulder	0,13	0,04	−0,06	−0,25**	0,09	0,13
	Tilt	0,02	0,08	−0,05	−0,07	0,09	0,32***
				Stem height			
	Shoulder	0,20*	0,20*	−0,39***	−0,24**	0,01	0,43***
	Tilt	0,19*	0,26**	−0,23*	−0,16	0,02	0,52***
				Shoot length			
	Shoulder	0,19*	0,15	−0,43***	−0,24*	0,01	0,38***
	Tilt	0,14	0,22*	−0,25**	−0,08	0,07	0,44***
				Success			
Planting 1M + 1A	Shoulder	0,29**	0,11	−0,07	−0,29**	0,02	0,27**
	Tilt	0,34***	0,16	0,16	−0,16	−0,11	0,11
				Stem height			
	Shoulder	0,29**	0,06	−0,10	−0,43***	−0,07	0,33***
	Tilt	0,18	0,13	−0,01	−0,33***	−0,27**	0,21*
				Shoot length			
	Shoulder	0,26**	0,04	−0,38***	−0,39***	−0,02	0,21*
	Tilt	0,16	0,12	−0,32***	−0,28**	−0,14	0,14
				Success			
Planting 1Mk and 1Mt	Shoulder	−0,12	0,34***	0,18	−0,25**	0,05	0,11
	Tilt	0,16	0,26**	0,33***	−0,10	−0,10	0,26**
				Stem height			
	Shoulder	0,23*	0,00	−0,46***	−0,43***	0,04	0,10
	Tilt	0,19	0,07	−0,39***	−0,32***	−0,05	0,05
				Shoot length			
	Shoulder	0,08	−0,04	−0,79***	−0,18	0,03	−0,01
	Tilt	0,03	0,02	−0,77***	−0,10	−0,03	−0,00

in the factor. The values in the correlation matrix (Table 15) indicated that the age of the clear-cut area had at least an equally large effect as the amount of birch. The older the clear-cut area, the poorer was the success of reforestation.

The »Humidity» had a strong negative effect on growth of the seedlings; and even on success of sowing, the effect was positive only in a few cases. The temperature variable was included in this factor with a rather small loading. There were no differences in the correlation coefficients even between the shoulder and the furrow. Also the »Nurse Crop» had negative effects in these data.

The factor determined on the basis of stoniness proved to be nearly insignificant for explaining the reforestation results. A statistically significant and negative correlation was found only for height of bare-rooted 1M + 1A seedlings planted on the tilt. The correlation matrix (Table 15) indicates that stoniness alone had a decidedly negative effect on reforestation results. Since, however, the dimension of the factor was positively correlated with the A-horizon thickness (which alone had a positive correlation with success of reforestation and seedling growth) and negatively correlated with the fine soil fraction amount (which alone correlated negatively with the reforestation results), the net degree of explanation for the factor was small.

A distinct positive correlation was observed between »Spruce Dominance» and the reforestation results. Generally, the more spruces in the previous forest, the better was the success of reforestation and early growth of seedlings.

Discussion

Generally, common factors explained quite satisfactorily the variance of site variables. The low communality for thickness of the B-horizon was probably due to errors of measurement caused by the poorly defined horizon. The thickness of the A-horizon was conspicuously correlated with the first factor represented in the location of the area. According to **Aaltonen** (1935, 1939, 1941b) the A-horizon is usually thinner on old soils than on young soils. Old soils, which were exposed first from under the glacial ice, occur at high altitudes of the mountain areas (**Sauramo** 1958), where the growing season is shorter and colder than average.

In the second factor the correlation between the species compostition of the previous forest and the elapsed time since the area was clear cut corresponds to the cutting practice followed recently. The time elapsed from clear cutting was correlated also with the quantity of remnant trees (the fourth factor). Only during the last few years has it been common not to clear the felling area. The fact the inclination of the slope and amont of fine soil fractions were connected with the same factor was probably due only to the experi-

mental conditions; under these conditions it is difficult to imagine an invariable relation.

The composition of the »Spruce-Dominance» factor suggests the old assumption that spruce has a role in eluviation and podsolization of the soil (**Aaltonen** 1948, p. 204—222). The amount of fine soil fractions was negatively correlated with spruce dominance. This association is somewhat surprising and contradicts hypotheses that natural spruce stands in Lapland would have occurred on sites with finer soil fractions than pine stands (**Lähde** and **Siltanen** 1973, **Lähde** and **Mutka** 1974, **Lähde** 1974a). The reliability of these comparisons is reduced by the uncertainty of sampling errors. In the national forest inventories all the ordinary tree species have occured on many different soils (**Ilvessalo** 1933, **Aaltonen** 1941a). On the coarsest soils mainly pine and on the finest soils mainly spruce or broadleaf trees have dominated the stands.

Correlations between the factor scores and the criterion variables, success of reforestation and early growth of seedlings, were usually reasonable. Based on what was found previously in this study, the favourable effect of the »Southern location» on reforestation results was expected and does not require more explanations. The favourable effect of the »Admixture of Birch» on results was more ambiguous because of the negative correlation between the amount of birch and the age of the clear-cut area. A true cause and effect relation would explain the deterioration of clear-cut and unforested sites with time. No certainty of the true effect of this factor was obtained. It would, however, be in accordance with general opinions.

The »Humidity» had a negative effect on results. Therefore, it appears that too much water specifically or negative effects of associated phenomena in general caused the detrimental effects (cf. **Kujala** 1936). On ploughed sites, where the furrows lead away surface water, the results were somewhat surprising. It is, of course, possible that »Humidity» was linked with some other negative effects not at all measured in this study. The data did not include any indication of hidden effects other than temperature. The joint effect of humidity and the unfavourable effect of physical properties of the soil are probably important factors for performance of seedlings on ploughed sites in Lapland (cf. **Lähde** and **Siltanen** 1973, **Lähde** and **Mutka** 1974, **Lähde** 1974a).

Compared to the previously reported results (Section 33), the negative effect of the nurse crop was now much more clearly and unequivocally demonstrated. Perhaps one reason for this was the linkage of unfavourable edaphic factors, amounts of fine soil fractions, and site inclination to this factor.

The »Stoniness» factor proved to be nearly insignificant for explaining the reforestation results. In this case the linkage of indenpendent variables

into factors obscured more than revealed causal relations. A similar linkage of variables into one factor is not contrary to the true conditions in nature, and the interpretation of the end result may have been correct. Since the choise of experimental areas was not based on random sampling, however, one cannot be sure that the interpretation was correct.

The negative effect of podsolization associated with spruce dominance on the planted seedlings has been demonstrated very convincingly in some previous studies (**Lähde** and **Mutka** 1974). Considering this and the unfavourable results gained in the 1960's from planting and sowing pine on spruce sites, the positive correlation between »Spruce Dominance» and both success of reforestation and seedling growth in this study were a surprise. Nothing in the data indicated possibilities for nonsense correlations; therefore this was most likely a true cause and effect relation. These results are, however, remarkably similar to the oldest very good results for pine reforestation (**Heikinheimo** 1939).

It is still not known with certainty what causes the results to vary between extremes. The spruce sites of Lapland most likely have potential fertility, moisture and nutrients (cf. **Sirén** 1955), which in favourable cases is shown by excellent growth of the new stand. The oldest successful experiments with spruce reforestation were during the warmer-than-average 1930's; the worst failures were during the colder-than-average 1960's. The present experiments were made during a warmer-than-average period (Section 25). Based on this, it appears that the thermal climate is a crucial factor. To support this it has to be assumed that the combination of growth factors in spruce stands are very labile since the combined effects are sometimes favourably, sometimes unfavourably, dependent on temperature.

In the oldest successful experiments the potential fertility of spruce stands was realized with clear cutting and effective prescribed burning (**Heikinheimo** 1939, **Sirén** 1955). Similar possibilities seem to be associated with methods like ploughing. Ploughing tears up the structure of horizons formed by podsolization. Time will show whether ploughing will change conditions on the replanting area so much that previous setbacks will not be repeated.

The results of the above factor and correlation analysis are indicative. Neither the shape of the association nor the type of models best fitting the associations could be determined on the basis of these data. Progress in these aspects requires more comprehensive measurements on both seedlings and sites. The analytical method applied in this study seems to offer the possibility for utilizing background information of reforestation experiments which otherwise would be little used and emphasized.

7. SUMMARY

Problems related to reforestation of ploughed areas in Finnish Lapland were studied. The main research method was the reforestation experiment. In some experiments elucidating the effect of ploughing on success of seedlings observations were made on melting of snow and soil frost, and variation of temperature in the soil and the air close to the ground. Analysis of variance was used to study the results of the experiments. In an attempt to show causal relationships analyses of correlation, regression and factorials were used.

The results indicated that ploughing was deployed as a general method on rather many different sites. Most observations were made on moist site types; but observations on drier site types, including shrub-lichen types, were also made.

Ploughing was usually found to increase the temperature of the soil and air close to the ground during the growing season. Snow melted faster on ploughed open sites than in the forest or on open unploughed areas. The ploughed tilts were first exposed under the melting snow, but the soil frost melted first under the ploughed furrows. In the soil layer where the seedling roots grow the effect of ploughing was mainly an increase in maximum temperatures. Especially in the tilts, the temperatures became extreme. The number of degree days was clearly larger on the ploughed strips than in the patches made by scalping. The largest number of degree days was accumulated in the tilts. The differences in numbers of degree days were usually created in early summer. The average air minimum temperatures close to the ground were higher above ploughed than above scalped soil; the average maximum temperatures were lower. In the fall especially, the minimum temperature of the shoulder was clearly higher than on other microprofiles. The differences in air temperatures close to the ground were smaller than the differences observed in temperatures in the various kinds of substrates. The effect of prescribed burning on temperatures was similar but smaller than that of ploughing.

Planting was more successful and growth of planted seedlings was larger on ploughed than on scalped areas. For sowing the effect of ploughing was not equally clearly beneficial. Depending on the sowing point, the effect of ploughing could even be negative. On ploughed areas sowed seedlings were damaged, i.a., by frost heaving. Apparently, at times drought also reduced

the success of sowing on ploughed substrates. Ploughing of burned areas made the conditions so extreme that result of both sowing and planting were impaired. Prescribed buring was also found to have single effects, the most important of which was the large mortality of planted seedlings on these areas. The most probable cause of this mortality was the disturbed water balance of the seedlings, due to ash fertilization and extremes in the microclimate. Prescribed burning had a single positive effect on sowing.

On ploughed areas a nurse crop of up to 300—400 trees/hectare seemed to increase success of reforestation to some extent. A fairly clear negative effect of the nurse crop on success of reforestation was found for sowings in hoed patches. Clear differences in growth of the seedlings were found at the latest 3—4 years after reforestation. The nurse crop reduced growth of the seedlings.

Only suggestive results were obtained for the effect of the time for stabilization of the soil after ploughing. Sowing was on an average more successful the longer the interval between ploughing and sowing had been. A partial reason for this was apparently the reduction in damage due to frost heaving. Planting in the tilt appeared to be relatively more successful the longer the interval between ploughing and planting had been. No differences due to soil stabilization were found between growth of seedlings.

Sowing was successful on ploughed areas only when done in early summer up to the first week of July. The shortest remaining season, after which the results were markedly poorer, was an average of 500 d.d. The poorest results of sowing were obtained when the remaining growing season was 200—300 d.d. For a smaller number of degree days the results were somewhat improved, but seldom reached the success of sowing in the spring. The results of sowing in mid-summer could be improved somewhat by using shelter sowing. When planting seedlings which had been lifted into cold storage in the spring, the effect of length of growing season was similar to that of sowing. When lifting, transport and planting formed one continuous operation, the difference in success of planting at different dates was relatively small. Planting, especially with balled seedlings, was successful throughout the growing season. The later reforestation was done, the less the seedlings grew.

In general, reforestation on the shoulder was more successful than on the tilt. For sowing on the tilt the average result was 10—30 percentage points lower than on the shoulder, and growth of the sowed seedlings remained smaller on the tilt. Drougth and frost heaving were considered to be the most important causes of these differences. The success of sowing on the tilt could be improved by protecting the seed with a piece of wood or a special plastic shelter, but even then success was better on the shoulder. When planting on the tilt, especially with large seedlings from plastic rolls, the results were relatively good, but even then mortality was often consid-

erable. From the larger population of seedlings surviving on the shoulder one could usually find a subpopulation as vigorous as the smaller population of seedling surviving on the tilt. Indications of a real increase in growth caused by planting on the tilt was so far found only for the plastic-roll seedlings. After years, seedlings seemed to grow best in 10—20 cm thick tilts. On the shoulder the growth was best when the seedlings were planted as far as possible from the ploughed furrow. By combining the best-growing seedling populations on the tilt and the shoulder one always obtained a better end result than from the two microprofiles considered separately. Seedlings grew better on the microprofiles exposed to the sun than on those in the shade. During cold summers the success of sowing was also better when done on the sunny side than on the shady side of the microprofile.

On ploughed areas the differences between the compared methods of sowing were relatively small. Shelter sowing was, more successful than ordinary band sowing. Sowing of Norway spruce was less successful than that of Scots pine. For planting, the average differences between planting stock also remained small. Planting with balled seedlings was usually more successful than with bare-rooted stock. The success of planting was also found to be positively correlated with the number of degree days during the last growing season in the nursery. The warmer the growing season had been, the better, apparently, was the quality of the planting stock. Planting of Norway spruce was more successful than planting of Scots pine. Preliminary planting experiments with Siberian larch and silver birch were also satisfactory. There was no difference between the relative success of planting or sowing with Scots pine. For Norway spruce, planting was clearly more successful than sowing. Growth of pine seedling was strongly dependent on the original size of the seedlings and the number of degree days during the growing season in the field. Other differences in growth of types of planting stock were not found so far. Spruce seedlings grew more slowly than pine seedlings.

Among the causes of variation in results of reforestation on ploughed areas one could distinguish the decreasing results caused by more northerly locations, higher elevations and, consequently, the cooler climate. Humidity and remnant trees had the same effect to some extent. If the previous stand had been birch or especially spruce, the results were improved. Basically, this seemed to be due to the increased fertility of the site after ploughing. In addition to the effect of these factors on the results, the age of the cutting area, stoniness and the amount of fine soil fractions had negative effects. The thickness of the A-horizon and, more generally, soil permeability had positive effects. The distribution of these factors in the data made it impossible to determine their importance with any certainty.

REFERENCES

AALTONEN, V. T. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa I. Referat: Über die natürliche Verjüngung der Heidewälder im finnischen Lappland. Commun. ex Inst. Quaest. For. Finl. Ed. 1: 1—319.

— » — 1933. Über die postglazialen, natürlichen Veränderungen des Waldbodens in Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 18 (4): 1—20.

— » — 1935. Zur Stratigraphie des Podsolprofils I. Commun. Inst. For. Fenn. 20 (6): 1—150.

— » — 1938. Maa ja metsän uudistaminen. Silva Fenn. 46: 25—42.

— » — 1939. Zur Stratigraphie des Podsolprofils II. Commun. Inst. For. Fenn. 27 (4): 1—87.

— » — 1940. Metsämaa. 615. Porvoo. WSOY.

— » — 1941a. Metsämaamme valtakunnan metsien toisen arvioinnin tulosten valossa. Zusammenfassung: Die finnischen Waldböden nach den Erhebungen der zweiten Reichswaldschätzung. Commun. Inst. For. Fenn. 29 (5): 1—71.

— » — 1941b. Zur Stratigraphie des Podsolprofils III. Commun. Inst. For. Fenn. 29 (7): 1—43.

— » — 1942. Muutamia kasvukokeita puun taimilla. Referat: Einige Vegetationsversuche mit Baumpflanzen. Acta For. Fenn. 50 (6): 1—33.

— » — 1948. Boden und Wald. 457. Berlin. Paul Paray.

AARIO, L. 1966. Suomen maantiede. Tiedekirjasto 14. 301. Helsinki. Otava.

AHTI, T., HÄMET-AHTI, L. & JALAS, J. 1968. Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. Ann. Bot. Fenn. 5: 169—211.

ÅNGSTRÖM, A. 1936. Jordtemperaturen i bestånd av olika täthet. Summary: Soil temperature in stands of different densities. Medd. Stat. Skogsförsöksanst. 29 (3): 187—218.

APPELROTH, S.-E. 1969. Tutkimus metsänistutuskoneista. Summary: A study of tree planting machines. Commun. Inst. For. Fenn. 68 (5): 1—83.

ARMSON, K. A. 1958. The effect of two planting methods on the survival and growth of White spruce *(Picea glauca)* in eastern Ontario. For. Chron. 34 (4): 376—379.

ARNBORG, T. 1950. Om sådd- och plantingsmetoder. Norrl. Skogsv. Förb. Tidskr. 1: 27—38.

BAUMGARTNER, A. 1956. Über die Unterschiede in den klimatischen Wuchsbedingungen einer freien und einer birkenüberstellten Wiederaufforstungsfläche. Forstwiss. Cbl. 75: 223—239.

BENZIAN, B. 1965. Experiments on nutrition problems in forest nurseries. For. Comm. Bull. 37 (1—2): 1—265.

BIRKS, H. J. B. & SAARNISTO, M. 1975. Isopollen maps and principal components analysis of Finnish pollen data for 4 000, 6 000, and 8 000 years ago. Boreas 4 (2): 77—96.

BORG, A. 1928. Tuli metsänhoidon palveluksessa. Keskusmetsäseura Tapion käsikirjasia 21.

BRAEKKE, F. H. 1972. Varmehusholdning og mikroklima på ulike myrtyper. Summary: Energy balance and micro-climate on different peat land vegetation types. Medd. Norske Skogforsøksv. 119 (1): 1—134.

BÄRRING, U. 1963. Om tillståndet i Sveriges plantskogar. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsföryngr. Skogshögsk. 2: 1—85.

— » — 1967. Studier av metoder för plantering av gran och tall på åkerman i södra och mellersta Sverige. Summary: Studies of methods employed in the planting of *Picea abies* (L.) H. Karst. and *Pinus silvestris* L. on farm land in southern and central Sweden. Stud. For. Suec. 50: 1—332.

CAJANDER, A. K. 1926. The theory of forest types. Acta For. Fenn. 29 (3): 1—108.

CALLIN, G. 1975. Barrots- och krukplantor av tall — överlevnad, växt och tidsåtgång. Summary: Bare root and pot plants of Scots pine — survival, growth and time consumption. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 1: 3—30.

CAYFORD, J. H. & JARVIS, J. M. 1963. Furrowing and sheltering to improve early survival of planted Red pine on dry sites, southeastern Manitoba. Tree Plant. Notes 59: 21—24.

Climatological data 1967—1975. Finn. Meteorol. Inst. Suppl. Meteorol. Yearb. Finland 67—75 (1a 1967—1a 1975).

EICHRODT, R. 1969. Ueber die Bedeutung von Moderholz für die natürliche Verjüngung im subalpinen Fichtenwald. Beiheft Z. Schweiz. Forstver. 45: 1—122.

ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. Acta Agr. Fenn. 122: 1—122.

ENEROTH, O. 1931. Försök rörande hyggesaskans inverkan på barrträdsfröets groning och plantornas första utveckling. Referat: Versuche über die Einwirkung der Asche von Schlagabbrennen auf das Keimen des Nadelbaumsamens und die erste Entwicklung der Pflanzen. Comment. For. 5: 1—61.

— » — 1945. Om frömängden vid fläcksådd samt om sambandet mellan plantantal pr ha och slutenhetsgrad vid självsådd. Norrl. Skogsvårdsförb. Tidskr. 161—222.

ETHOLÉN, K. 1966. Metsänviljelyn työmuotoja vierailta mailta. Viljelyalan käsittely Neuvostoliitossa. Metsälehti 4: 4.

— » — 1972. Männyn viljelyn tulos Pohjois-Suomessa ja siemenen alkuperä. Summary: The success of artificial regeneration of Scots pine in Northern Finland and origin of seed. Folia For. 160: 1—27.

— » — 1974. Istutustavan vaikutus männyn viljelytulokseen. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 6: 1—9.

FORD-ROBERTSON, F. C. 1971. Terminology of Forest Science, Technology Practice and Products. The multilingual forestry terminology series 1: 1—349. Washington D. C. Soc. Amer. For.

FRANSSILA, M. 1960. On the measurement of soil temperature in forest and swamps. Finn. Meteorol. Off. Contr. 52: 1—20.

— » — 1962. On the influence of prescribed burning on the temperature and humidity conditions of the soil. WMO. Techn. Comm. Agric. Meteorol. Symposia on water balance of the soil and forest meteorology. Toronto. 1962: 91—101.

GEIGER, R. 1973. The climate near the Ground. Transl. 4th Germ. edit. (1961). 611. Cambr. Mass.Harvard Univ. Press.

GEIGER, R. & FRITZSCHE, G. 1940. Spätfrost und Vollumbruch. Forstarchiv 16: 141—156.

GÖHRE, K. & LÜTZKE, R. 1956. Der Einfluss von Bestandesdichte und -struktur auf das Kleinklima im Walde. Arch. Forstw. 5 (7/8): 487—572.

HAGNER, M. 1960. Rotmurklan *(Rhizina inflata)* — en aktuell skadegörare på brända hyggen. Norrl. SkogsvFörb. Tidskr. 1960: 81—96.

— » — 1962. Några faktorer av betydelse för rotmurklans skadegörelse. Summary: Some factors of importance for damage caused by *Rhizina undulata*. Norrl. SkogsvFörb. Tidskr. 1962: 245—270.

HEIKINHEIMO, O. 1920a. Pohjois-Suomen kuusimetsien esiintyminen, laajuus ja puuvarastot. Referat: Vorkommen, Umfang und Holzvorräte der Fichten-Wälder in Nord-Finnland. Commun. ex Inst. Quaest. For. Finl. Ed. 3: 1—170.

— » — 1920b. Suomen lumituhoalueet ja niiden metsät. Referat: Die Schneeschadengebiete in Finnland und ihre Wälder. Commun. ex Inst. Quaest. For. Finl. Ed. 3: 1—134, 1—17.

— » — 1921. Suomen metsärajametsät ja niiden vastainen käyttö. Referat: Die Waldgrenzwälder Finnlands und ihre künftige Nutzung. Commun. ex Inst. Quaest. For. Finl. Ed. 4: 1—71, 1—20.

— » — 1922. Pohjois-Suomen kuusimetsien hoito. Referat: Über die Bewirtschaftung der Fichtenwälder Nordfinnlands. Commun. ex Inst. Quaest. For. Finl. Ed. 5: 1—132.

— » — 1932. Vako-ruutukylvö, suositeltava metsänkylvömenetelmä. Metsätietoa 1 (2): 45—56.

— » — 1934. Metsänviljelymenetelmiä koskevista tutkimuksista. Referat: Über die Forschungsarbeit betreffend die Waldkulturmethoden. Acta For. Fenn. 40 (23): 563—573.

— » — 1939. Kokemuksia paksusammaltyypin metsien käsittelystä. Referat: Erfahrungen betreffend die Behandlung der Wälder vom Dickmoostyp. Silva Fenn. 52: 121—139, 292.

— » — 1940a. Metsäpuiden taimien kasvatus taimitarhassa. Referat: Versuche in Baumschulen. Commun. Inst. For. Fenn. 29 (1): 1—97.

— » — 1940b. Uudistusalojen maanpinnan käsittely ja taimettuminen. Metsätal. Aikak. 1. 57 (12): 195—202.

— » — 1941a. Kuusen kylvöstä ja sen edellytyksistä. Metsätal. Aikak. 1. 59 (7—12): 193—200.

— » — 1941b. Metsänistutusmenetelmistä. Referat: Versuche mit Waldbaulichen Pflanzmethoden. Commun. Inst. For. Fenn. 29 (4): 1—63.

— » — 1954. Taimitarhan maantieteellinen sijainti, siemenen alkuperä ja istutuskaudet. Referat: Geographische Lage der Baumschule, Herkunft des Samens und Zeit der Pflanzung. Acta For. Fenn. 61 (9): 1—28.

Heikurainen, L. 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. Summary: A method for calculation of the suitability of peatlands for forest drainage. Acta For. Fenn. 131: 1—35.

— » —, Päivänen, J. & Seppälä, K. 1966. Koetuloksia männyn kylvöstä ja istutuksesta ojitetuilla soilla. Summary: Some results of pine seeding and planting on drained peat soils. Silva Fenn. 119: 1—21.

Hertz, M. 1934. Kasvualustan merkitys männyn uudistumiselle. Referat: Über die Bedeutung der Unterlage für die Verjüngung der Kiefer. Commun. Inst. For. Fenn. 20 (2): 1—98.

Huikari, O. 1954. Metsänhoitotöiden koneellistamisen nykyvaihe. Summary: A good start with the mechanisation of silvicultural tasks. Metsätal. Aikak. 1. 71 (8): 303—306.

Huss, E. & Sinko, M. 1969. Effekt av hyggesbränning. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsföryngr. Skogshögsk. 17: 385—424.

Hustich, I. 1948. The Scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. Acta Bot. Fenn. 42: 1—76.

— » — 1952. Barrträdarternas polara gräns på norra halvklotet. Summary: The polar limits of the coniferous species. Commun. Inst. For. Fenn. 40 (29): 1—20.

Huuri, O. 1973. Taimitarhanoston suoritustavan vaikutus kuusen ja männyn taimien alkukehitykseen. Summary: The effect of nursery lifting methods on initial development of spruce and pine transplants. Folia For. 177: 1—25.

Ilvessalo, Y. 1933. Metsätyyppien esiintyminen eri maalajeilla. Summary: Occurrence of forest types on the different soils. Commun. Inst. For. Fenn. 18 (5): 1—36.

— » — 1937. Perä-Pohjolan luonnonnormaalien metsiköiden kehitys. Summary: Growth of natural normal stands in central North-Suomi (Finland). Commun. Inst. For. Fenn. 24 (2): 1—168.

— » — 1960. Suomen metsät kartakkeiden valossa. Summary: The forests of Finland in the light of maps. Commun. Inst. For. Fenn. 52 (2): 1—70.

Jeffers, J. N. R. 1960. Experimental Design and Analysis in Forest Research. 172. Stockholm. Almqvist & Wiksell.

Kalela, A. 1961. Waldvegetationszonen Finnlands und ihre klimatischen Paralleltypen. Arch. Soc. 'Vanamo'. 16: 65—83.

Kaunisto, S. 1974. Männyn kylvöajankohta ojitetulla suolla. Summary: Date of direct seeding on drained peatlands. Folia For. 203: 1—28.

KAUPPILA, A. & LÄHDE, E. 1975. Koetuloksia maan käsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. Summary: On the effect of soil treatments on forest soil properties in North-Finland. Folia For. 230: 1—29.

KELLOMÄKI, S. 1972. Maanpinnan reliefin ja kasvillisuuden kehityksestä aurauksen jälkeisinä vuosina Perä-Pohjolan metsänuudistusaloilla. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 8: 1—56.

KERÄNEN, J. 1920. Über die Temperatur des Bodens und der Schneedecke in Sodankylä nach Beobachtungen mit Thermoelementen. Ann. Acad. Scient. Fenn. A 13 (7): 1—200.

— » — 1923. Über den Bodenfrost in Finnland. Mitt. Met. Zentr. Anst. finn. Staat. 12: 1—57.

KIHLMAN, A. O. 1890. Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. Acta Soc. pro F. et Fl. Fenn. 6 (3): 1—263.

KOLEHMAINEN, V. A. 1955. Havaintoja kulotuksen merkityksestä metsiemme uudistamisessa. Referat: Beobachtungen über die Bedeutung des Abschwendens bei Verjüngung von finnischen Wäldern. Silva Fenn. 85: 1—32.

KOLKKI, O. 1966. Tables and maps of temperature in Finland during 1931—1960. Finn. Meteorol. Office. 42.

— » — 1969. Katsaus Suomen ilmastoon. Ilmatiet. Lait. Tied. 18: 1—64.

KOSKI, V. 1970. A study of pollen dispersal as a mechanism of gene flow in conifers. Commun. Inst. For. Fenn. 70 (4): 1—78.

KUJALA, V. 1936. Tutkimuksia Keski- ja Pohjois-Suomen välisestä kasvillisuusrajasta. Referat: Über die Vegetationsgrenze von Mittel- und Nord-Finnland. Commun. Inst. For. Fenn. 22 (4): 1—95.

LAINE, L. 1968. Kuplamörsky (*Rhizina undulata* Fr.), uusi metsän tuhosieni maassamme. Summary: *Rhizina undulata* Fr., a new forest disease in Finland. Folia For. 44: 1—11.

LAITAKARI, E. 1935. Koivun juuristo. Summary: The root system of birch (*Betula verrucosa* and *odorata*). Acta For. Fenn. 41 (2): 1—216.

LAKARI, O. 1915. Studien über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideboden. Acta For. Fenn. 5: 1—211.

LASSILA, I. 1920. Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella. Referat: Untersuchungen über die Entstehung und Entwicklung der Kiefernwälder nördlich vom nördlichen Polarkreise. Acta For. Fenn. 14: 1—95, 1—3.

LEHTO, J. 1969. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojuspuumenetelmällä. Summary: Studies conducted in northern Finland on the regeneration of Scots pine by means of the seed tree and shelterwood methods. Commun. Inst. For. Fenn. 67 (4): 1—140.

LEIKOLA, M. 1969. The influence of environmental factors on the diameter growth of forest trees. Auxanometric study. Acta For. Fenn. 92: 1—144.

— » — 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.

— » — 1975. Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin Pohjois-Suomessa. Summary: The influence of the nurse crop on stand temperature conditions in northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 85 (7): 1—33.

— » — & PYLKKÖ, P. 1968. Verhopuuston tiheyden vaikutus metsikön minimilämpötiloihin hallaöinä. Summary: On the influence of stand density on the minimum temperatures during frost nights. Silva Fenn. 3 (1): 20—32.

— » — & RAULO, J. 1973. Tutkimuksia taimityyppiluokituksen laatimista varten III. Taimien morfologisten tunnusten muuttuminen kasvukauden aikana. Summary: Investigations on the basis for grading nursery stock III. Changes in morfological characteristics of nursery stock during the vegetation period. Folia For. 178: 1—19.

LEVITT, J. 1956. The Hardiness of Plants. Monograph Serie »Agronomy» 6. 278. New York. Acad. Press.

LOW, A. J. & BROWN, R. M. 1972. Production and use of ball-rooted planting stock in Sweden and Finland. For. Comm. Res. Devel. Pap. 87: 1—25.

LUKKALA, O. J. 1934. Ojitettujen soiden keinollisesta metsittämisestä. Metsätietoa 1 (8): 295—313.

LUNELUND, H. 1935a. Contribution to the knowledge of solar radiation in Finland. Soc. Scient. Fenn. Comm. Phys. — Math. 7 (11): 1—58.

— » — 1935b. Die Helligkeit in Finnland. Soc. Scient. Fenn. Comm. Phys. — Math. 8 (7): 1—42.

LYFORD, W. H. & MAC LEAN, D. W. 1966. Mound and pit microrelief in relation to soil disturbance and tree distribution in New Brunswick, Canada. Harvard For. Pap. 15: 1—17.

LYYTINEN, O. 1958. Metsänhoidon konneellistaminen valtion metsissä. Metsätal. Aikak. 1. 74 (6): 187—191.

LÄHDE, E. 1973. Metsämaan ominaisuudet ja männyntaimistojen kunto Pohjois-Suomessa. Summary: The qualities of forest soil and condition of pine plantation in northern Finland. Lapin tutkimusseuran vuosikirja 14: 5—10.

— » — 1974a. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Suomenkielinen selostus: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. Commun. Inst. For. Fenn. 84 (3): 1—23.

— » — 1974b. The effect of seed-spot shelters and cold stratification on germination of pine (*Pinus silvestris* L.) seed. Kylvösuojan ja kylmästratifioinnin vaikutus männyn siemenen itämiseen. Folia For. 196: 1—16.

— » — & KINNUNEN, K. 1974. Paperikennon ja turveruukun seinän lujuus ja taimien alkukehitys Pohjois-Suomessa. Summary: The relationship between the wall strength of paper and peat pots and the initial development of seedlings in northern Finland. Folia For. 197: 1—19.

— » — & 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. Commun. Inst. For. Fenn. 83 (3): 1—43.

— » — & SILTANEN, S. 1973. Männyn taimien kunto ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of the root system and the condition of the pine (*Pinus silvestris* L.) seedlings in northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 78 (7): 1—31.

— » — & TUOHISAARI, O. 1976. An ecological study on effects of shelters on germination and germling development of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch. Commun. Inst. For. Fenn. 88 (1): 1—37.

MAC ARTHUR, J. D. 1964. Planting methods to overcome strong competition from, dense, herbaceous vegetation. Tree Plant. Notes 66: 25—29.

MAC LEOD, J. W. 1964. Planting White spruce on wet brushy land. Canada Dept. For. Publ. 1067: 1—4.

MANNERKOSKI, H. 1971. Lannoituksen vaikutus kylvösten ensi kehitykseen. Summary: Effect of fertilization on the development of Scots pine and Norway spruce plantations established by sowing on peat. Silva Fenn. 5 (2): 105—128.

MELDERS, K. 1929. Neue Waldsaatmethode. Comment. For. 3: 1—13.

MIKOLA, P. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Commun. Inst. For. Fenn. 38 (5): 1—131.

— » — 1952. Havumetsien viimeaikaisesta kehityksestä metsänrajaseudulla. Summary: On the recent development of coniferous forests in the timberline region of northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 40 (2): 1—35.

— » — 1954. Kokeellisia tutkimuksia metsäkarikkeiden hajaantumisnopeudesta. Summary: Experiments on the rate of decomposition of forest litter. Commun. Inst. For. Fenn. 43 (1): 1—50.

— » — 1960. Comparative experiment on decomposition rates of forest litter in southern and northern Finland. Oikos 11: 161—166.

— » — 1963. Luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn suhde tulevaisuuden metsänhoidossa Lapissa. Summary: Artificial and natural regeneration in the future silviculture of Lapland. Lapin tutkimusseuran vuosikirja 4: 5—14.

MØRK, E. 1933. Temperaturen som foryngelsefaktor i de Nord-Trøndeske granskoger. Referat: Über die Bedeutung der Temperatur für die Verjüngung in den Fichtenwäldern von Nord-Tröndelag. Medd. Norske Skogforsøksv. 5 (16—19): 1—156.

— » — 1965. Såforsøk med furu til forskjellige tider i vegetasjonsperioden. Summary: Sowing experiment with seed from Scots pine at different time during the growing season. Medd. Norske Skogforsøksv. 74 (3): 174—201.

MUTKA, K. & LÄHDE, E. 1977. Effect of soil treatment, liming, and phosphate fertilization on initial development of bare-rooted Scots pine transplants. Commun. Inst. For. Fenn. 91(3).

MÄKELÄ, J. 1968. Puunkorjuun tuottavuuteen vaikuttavat tekijät maatilametsätaloudessa. Summary: Factors affecting logging productivity in farm forests. Acta For. Fenn. 85:1—116.

MÄLKÖNEN, E. 1972. Näkökohtia metsämaan muokkauksesta. Summary: Some aspects concerning cultivation of forest soil. Folia For. 137: 1—11.

— » — 1976. Markberedningens ekologi och inverkan på planteringsresultatet. Forskningsstiftelsen skogsarbeten. Redogörelse 6: 11—15.

ODIN, H. 1964. Skogsmeteorologiska undersökningar i höjdlägen. Summary: Investigations of forest meteorology in upland terrain. K. Skogs — O. Lantbr Akad. Tidskr. 2—3: 198—218.

— » — 1974. Några meteorologiska förändringar vid hyggesuptagning. Summary: Some meteorological effects of clear felling. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 1: 60—65.

PESSI, Y. 1958. On the significance of soil temperature in plant cultivation. Publications of Finnish state agricultural research board 167: 1—24.

POHTILA, E. 1972a. Tulokset Perä-Pohjolan valtionmailla vuosina 1930—45 tehdyistä kuusiviljelyistä. Summary: Results of spruce cultivation from 1930—45 on stateowned lands in Perä-Pohjola. Folia For. 156: 1—12.

— » — 1972b. Tutkimuksia aurattujen alueiden metsänviljelymenetelmistä Koillis-Suomessa. Tulokset vuosina 1967—68 tehdyistä männyn kylvö- ja istutuskokeista. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 6: 1—97.

PÄIVÄNEN, J. 1968. Istutusajankohdan vaikutus männyn istutuksen onnistumiseen ojitetuilla avosoilla. Summary: The effect of the date of planting on the survival of pine on drained open peatlands. Silva Fenn. 2 (2): 57—80.

RENVALL, A. 1912. Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze. Acta For. Fenn. 1: 1—154.

— » — 1919. Mäntymetsän elinehdot sen pohjoisrajalla sekä tämän rajan alenemisen syyt. Suojametsäkysymyksestä 1. Acta For. Fenn. 11: 1—143.

RÄSÄNEN, P. K. 1970. Nostoajankohdan, pakkaustavan, varastointiajan pituuden ja kastelun vaikutuksesta männyn taimien kehitykseen. Summary: The effect of lifting date, packing, storing and watering on the field survival and growth of Scots pine seedlings. Acta For. Fenn. 112: 1—27.

SARVAS, R. 1937. Kuloalojen luontaisesta metsittymisestä. Pohjois-Suomen kuivilla kankailla suoritettu metsäbiologinen tutkielma. Referat: Über die natürliche Bewaldung der Waldbrandflächen. Eine waldbiologische Untersuchung auf den trockenen Heideböden Nord-Finnlands. Acta For. Fenn. 46 (1): 1—146.

— » — 1950. Tutkimuksia Perä-Pohjolan harsimalla hakattujen yksityismetsien uudistamisesta. Summary: Investigations into the natural regeneration of selectively cut private forests in Northern Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 38 (1): 1—95.

— » — 1952. Pohjois-Suomen kuivien kangasmetsien ekologiasta. Summary: On the ecology of dry moss-lichen forests in North Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 41 (1): 1—27.

— » — 1970. Temperature sum as a restricting factor in the development of forest in the Subarctic. Ecology and conservation 1. Ecology of the subarctic regions. Proc. Helsinki Symp. 1966: 79—82. Unesco.

SAURAMO, M. 1958. Die Geschichte der Ostsee. Ann. Acad. Scient. Fenn., Ser. A. 3 (51): 1—522.

SIMONEN, A. 1964. Kallioperä. Suomen geologia: 49—124. Helsinki. Kirjayhtymä.

SIRÉN, G. 1952. Havaintoja Perä-Pohjolan valtion mailla 1948—50 suoritetuista männyn kylvöistä. Summary: Observations on Pine Sowings on State-Owned Lands in Peräpohjola (Far North) in 1948—1950. Silva Fenn. 78: 1—40.

— » — 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Acta For. Fenn. 62 (4): 1—363.

— » — 1957. Eräitä näkökohtia metsänviljelymenetelmistämme. Rovaniemen metsäkoulu. Kurssijulkaisu 1955—56: 1—7.

— » — 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien under historisk tid. Summary. Commun. Inst. For. Fenn. 54 (2): 1—66.

— » — 1965. Lapin metsänhoidon suuntaviivat. Synopsis: Trends of forestry in Lapland. Lapin tutkimusseuran vuosikirja 6: 20—34.

— » — 1973. Some remarks on fire ecology in Finnish forestry. Proceedings annual tall timber fire ecology conference. March 22—23, 1973: 191—209.

— » — 1974. Maskinell skogsodling. Summary: Mechanized artificial regeneration. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 1: 184—193.

— » — , SINKO, M. & BERGGREN, C. 1974. Resultat av orienterande trädslagsförsök under skärm i högläge. Rapp. Uppsats. Instn. Skogföryngr. Skogshögsk. 59: 1—77.

— » — , SINKO, M. & NILSSON, J.-E. 1974. Observationer angående lågskärmens skyddseffekt på granplantor på frostlänta lägen. Instn. Skogsföryng. Skogshögsk. Intern rapport 1974: 1—15.

SKOGLEFALD, S. 1973. Virkning av flatebrenning på en del humusegenskaper og på etablering og høydevekst hos gran og furu. Summary: Effect of controlled burning on some humus properties and on the establishment and height growth of Norway spruce and Scots pine. Medd. Norske Skogforsøksv. 125 (7): 471—504.

SNEDECOR, G. W. & COCHRAN, W. G. 1968. Statistical Methods. 593. Ames. The Iowa State University Press.

SOLANTIE, R. 1974. Kesän vesitaseen vaikutus metsä- ja suokasvillisuuteen ja linnustoon sekä lämpöolojen välityksellä maatalouden toimintaedellytyksiin Suomessa. Summary: The influence of water balance in summer of forest and peatland vegetation and bird fauna and through the temperature on agricultural conditions in Finland. Silva Fenn. 8 (3): 160—184.

SOLIN, P. 1970. Männyn istutuksen antamista tuloksista Lapin piirimetsälautakunnan alueen eteläosissa. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 3: 1—69.

STRATONOVICH, A. I. 1966. Lesnye kultury taezhnoi zony. 162. Moskva. Lesnaya promyshlennost (transl. Kullervo ETHOLÉN).

SÖDERSTRÖM, V. 1974. Markberedning. Summary: Soil treatment. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 1: 157—166.

— » — 1975. Ekologiska verkningar av hyggesplogning. Summary: Ecological effects of ploughing mineral soil before planting on clearfelled areas. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 5: 443—472.

— » — 1976. Analys av markberedningseffekterna vid plantering på några färska hyggen. Summary: Analysis of the effects of scarification before planting conifers on some newly clearfelled areas in Sweden. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 2—3: 59—333.

TAMM, C. O. 1975. Forestry operations and the groundwater. Skogen 7: 330—336.

TIGERSTEDT, P. M. A. 1973. Studies on isozyme variation in marginal and central populations of *Picea abies*. Hereditas 75: 47—60.

— » — 1974. Genetic Structure of *Picea abies* populations as determined by the isozyme approach. Proc., Joint IUFRO Meeting, S. 02. 04. 1—3, Stockholm, 1974, Session 5: 283—290.

TIKKA, P. S. 1940. Puiden vikanaisuuksien merkitys ja huomioon ottaminen Perä-Pohjolan mäntymetsien hoidossa. Referat: Bedeutung und Berücksichtigung der Baumschäden im nordfinnischen Kiefernwaldbau. Acta For. Fenn. 50: 1—91.

— » — 1947. Perä-Pohjolan kuusikoiden laadusta. Referat: Über die Beschaffenheit der Fichtenbestände in Nordnord-Finnland. Acta For. Fenn. 55: 1—64.

TIRÉN, L. 1952. Om försök med sådd av tall- och granfrö i Norrland. Summary: On experiments in sowing pine and spruce seed in Northern Sweden. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 41 (7): 1—110.

— » — 1953. Jämförelser mellan olika såddmetoder. Summary: Comparisons between different sowing methods. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 43 (9): 1—83.

TROEDSSON, T. 1976. Innebär det moderna skogsbruket ett markslitage. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 4: 397—403.

TROEDSSON, T. & UTBULT, K. 1972. Hyggesplöjning från hydrologisk synpunkt. Summary: Soil ploughing from the hydrological point of view. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 5: 477—486.

VAARTAJA, O. 1954a. Factors causing mortality of tree seeds and succulent seedlings. Acta For. Fenn. 62 (3): 1—29.

— » — 1954b. Temperature and evaporation at and near ground level on certain forest sites. Canad. J. Bot. 32: 760—783.

VALTANEN, J. 1967. Taimen paikan valinnasta. Metsätal. Aikak. 1. 84: 25.

— » — 1970. Lapin männyntaimistojen kunnosta. Metsä ja Puu 87 (4): 5—6.

VIRO, P. J. 1952. Kivisyyden määrittämisestä. Summary: On the determination of stoniness. Commun. Inst. For. Fenn. 40 (3): 1—23.

— » — 1955. Investigations on forest litter. Commun. Inst. For. Fenn. 45 (6): 1—65.

— » — 1958. Suomen metsämaiden kivisyydestä. Summary: Stoniness of soil in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 49 (4): 1—45.

— » — 1962. Forest site evaluation in Lapland. Commun. Inst. For. Fenn. 55 (9): 1—14.

— » — 1963. Factorial experiments on forest humus decomposition. Soil Science 95 (1): 24—30.

— » — 1966. Kangasmaan taimiston lannoitus. Summary: Manuring of young plantations. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (4): 1—30.

— » — 1967. Forest manuring on mineral soils. Medd. Norske Skogforsøksv. 85 (23): 113—136.

— » — 1969. Prescribed burning in forestry. Commun. Inst. For. Fenn. 67 (7): 1—49.

VOSS-LAGERLUND, K. 1976. Effects of soil preparation on the bacterial population in forest soil. Commun. Inst. For. Fenn. 86 (7): 1—35.

WIBECK, E. 1920. Om olika skogsodlingsmetoders förhållande till uppfrysningsfaran i Norrland. Resüme: Ueber die Gefahr des Auffrierens bei verschiedenen Forstkulturmethoden in Norrland. Medd. Stat. Skogsförsöksanst. 17: 329—347.

— » — 1927. Vår- eller höstsådd. Redogörelse för jämförande såddförsök, utförda av Statens skogsförsöksanstalt under tidsperioden 1912—1921. Summary: Spring or autumn sowing. Medd. Stat. Skogsförsöksanst. 23: 217—294.

WILDE, S. A. & ALBERT, A. R. 1942. Effect of planting methods on survival and growth of plantations on well-drained sandy soils of central Wisconsin. J. For. 40: 560—562.

— » — & VOIGT, G. K. 1959. The effect of different methods of tree planting on survival and rate of growth of White pine on superior clay soils. For. Abstr. 20: [4511].

ZEHETMAYR, J. W. L. 1960. Afforestation of upland heaths. For. Comm. Bull. 32: 1—145.

YLI-VAKKURI, P. 1957. Tutkimuksia taimien pakkauksesta ja kuljetuksesta. Summary: Investigations into the packing and transportation of plants. Commun. Inst. For. Fenn. 49 (1): 1—59.

— » — 1958. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulotuksesta. Referat: Untersuchungen über das Absengen als waldbauliche Massnahme auf entwässerten Torfböden. Acta For. Fenn. 67 (4): 1—33.

— » — 1960. Metsiköiden routa- ja lumisuhteista. Summary: Snow and frozen soil conditions in the forest. Acta For. Fenn. 71 (5): 1—48.

— » — 1961a. Emergence and initial development of tree seedlings on burnt-over forest land. Acta For. Fenn. 74 (1): 1—51.

— » — 1961b. Tutkimuksia männyn kylvöalojen metsittymisvaiheista. Summary: Studies on the development of young sown pine stands. Acta For. Fenn. 74 (3): 1—47.

— » — 1961c. Kokeellisia tutkimuksia taimien syntymisestä ja alkukehityksestä kuusikoissa ja männiköissä. Summary: Experimental studies on the emergence and initial development of tree seedlings in spruce and pine stands. Acta For. Fenn. 75 (1): 1—122.

— » — 1968. Taimiston perustamistiheys. Summary: Spacing in forest plantations. Metsätal. Aikak. 1. 85 (2): 55—57.

— » — , RÄSÄNEN, P. & HILLI, A. 1968. Taimien talvivarastoinnista ja sen vaikutuksesta männyn taimien istutuskelpoisuuteen. Summary: Overwinter cold-storage and its effect on the field survival and growth of planted Scots pine. Acta For. Fenn. 88: 1—40.

— » — & RÄSÄNEN, P. K. 1971. Siementen peittämisen ja kylvökohdan polkaisun vaikutus männyn ruutukylvön tulokseen. Summary: The influence of covering and of tramping the seeds into the soil on the success of spot sowing of pine. Silva Fenn. 5 (1): 1—10.

— » — , RÄSÄNEN, P. K. & SOLIN, P. 1969. Metsänviljelyn antamista tuloksista Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piirimetsälautakuntien alueella. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 2: 1—92.

SELOSTE

Tutkimuksessa tarkasteltiin tekijöitä, jotka vaikuttavat metsänviljelyn onnistumiseen ja taimien alkukehitykseen auratuilla alueilla Lapissa. Pääasiallinen tutkimusmenetelmä oli metsänviljelyn kenttäkoe. Verrattain suuren koeala-aineiston perusteella haluttiin saada käsitys siitä, millaisilla kasvupaikoilla aurausta yleensä käytetään. Eräillä aurauksen vaikutusta selvittävillä koealoilla havainnoitiin taimien menestymisen ohella myös lumen ja roudan sulamista sekä maan ja maanläheisen ilmakerroksen lämpötilan vaihtelua. Koeviljelyiden tulosten vaihtelua tutkittiin yleensä varianssianalyysillä. Syysuhteiden selvittelyssä käytettiin korrelaatio-, regressio- ja faktorianalyysiä.

Aurausta todettiin käytetyn yleismenetelmän tapaan varsin monenlaisilla kasvupaikoilla. Eniten havaintoja oli tuoreilta kasvupaikkatyypeiltä, mutta aineistoon sisältyi myös kuivempia tyyppejä aina varpu-jäkälätyyppiin asti.

Aurauksen havaittiin yleensä kohottavan kasvukauden aikaisia maan ja maanläheisen ilman lämpötiloja. Maa suli aukealta auratulta alalta nopeammin kuin metsästä tai aukealta auraamattomalta alalta. Lumen alta paljastuivat ensimmäisenä aurauspalteet, mutta maarouta hävisi ensimmäiseksi aurausvakojen alta. Siinä maakerroksessa, jossa taimien juuret kasvavat, aurauksen vaikutus ilmeni ennen kaikkea maksimilämpötilojen kohoamisena. Ääreviksi lämpöolot muodostuivat erityisesti palteissa. Lämpötilan ja sen kestoajan yhteisvaikutusta kuvaava lämpösumma oli aurausjäljessä selvästi korkeampi kuin laikussa. Eniten lämpösummaa kertyi palteissa. Lämpösummien erot syntyivät pääasiassa kesän alkupuoliskolla. Ilman minimilämpötilat lähellä maanpintaa olivat auratulla alustalla keskimäärin korkeammat kuin laikutetulla, maksimilämpötilat taas hieman alhaisemmat. Pientareiden minimilämpötilat olivat varsinkin syyskesällä selvästi muita korkeammat. Verrattuna maan lämpötiloissa eri alustalaatujen kesken havaittuihin eroihin maanläheisen ilman lämpötilaerot olivat pienempiä. Kulotuksen vaikutus lämpötiloihin todettiin samansuuntaiseksi kuin auraukseenkin mutta pienemmäksi.

Istutus onnistui auratuilla aloilla paremmin kuin laikutetuilla ja myös istutustaimien kasvu oli auratuilla aloilla parempi. Kylvössä aurauksen vaikutus ei ollut yhtä selvästi suotuisa. Riippuen kylvökohdasta aurauksen vaikutus saattoi olla jopa negatiivinen. Kylvöksiä tuhoutui auratulla maalla mm. routimisen vuoksi. Ilmeisesti myös kuivuus huononsi ajoittain kylvötulosta. Kulotettujen alojen auraus äärevöitti jo olosuhteita niin paljon, että sekä kylvö- että istutustulos huononivat. Kulotuksella havaittiin myös yksittäisvaikutuksia, joista huomattavin oli istutettujen taimien suuri kuolleisuus kulotetuilla aloilla. Todennäköinen syy tähän oli tuhkalannoituksen ja äärevän pienilmaston aiheuttama taimien vesitalouden järkkyminen. Kylvössä kulotuksella ilmeni havaittava suotuisa yksittäisvaikutus.

Verhopuusto tiheyteen 300—400 puuta/ha asti näytti parantavan viljelyn onnistumista auratuilla aloilla jonkin verran. Selvä negatiivinen vaikutus viljelyn onnistumiseen verhopuustolla oli vain kuokittuihin laikkuihin tehdyssä kylvössä. Viimeistään 3—4 vuoden kuluttua viljelystä taimien kasvussa havaittiin selviä verhopuuston aiheuttamia eroja. Verhopuusto pienensi taimien kasvua.

Auratun uudistusalan tekeytymisen merkityksestä saatiin joitakin viitteitä. Kylvö onnistui keskimäärin sitä paremmin, mitä pitempi oli aurauksen ja viljelyn väli. Eräs syy tähän ilmeisesti oli routimisvahinkojen väheneminen. Palteeseen istutus näytti onnistuvan suhteellisesti sitä

paremmin, mitä pitempi oli aurauksen ja viljelyn välinen aika. Taimien kasvussa ei havaittu varmoja eroja.

Kylvö onnistui auratuilla alueilla tyydyttävästi vain alkukesällä, heinäkuun ensimmäiselle viikolle saakka. Lyhin kasvukausi, jonka jälkeen tulos ratkaisevasti huononi, oli keskimäärin 500 d.d. Huonoimmillaan kylvötulos oli, kun kasvukauden pituus oli 200—300 d.d. Sitä pienemmillä tulos jälleen hieman parani, mutta ylti vain harvoin kevätkylvöjen tasolle. Kylvön onnistumista keskikesällä voitiin jonkin verran parantaa käyttämällä vakoruutukylvön sijasta suojakylvöä. Istutettaessa taimia, jotka oli keväällä nostettu kylmävarastoon, kasvukauden pituudella viljelyhetkestä talven tuloon oli samantapainen vaikutus kuin kylvössäkin. Kun taimien nosto, kuljetus uudistusalalle ja istutus olivat toisiaan välittömästi seuraava ketju, erot istutuksen onnistumisessa eri ajankohtien välillä olivat suhteellisen pieniä. Istutus onnistui varsinkin paakkutaimilla tyydyttävästi läpi kasvukauden. Mitä myöhemmin viljely tehtiin sitä pienemmäksi jäi aina taimien kasvu.

Yleensä viljely onnistui pientareessa paremmin kuin palteessa. Kylvössä onnistuminen oli palteissa keskimäärin 10—30 %-yksikköä alhaisempi kuin pientareissa ja myös kylvötaimien kasvu jäi palteissa pienemmäksi. Kuivuutta ja maan pintakerroksen routimista pidettiin tärkeänä syynä tämän tuloseron syntymiseen. Palteeseen kylvön onnistumista voitiin parantaa suojaamalla kylvökohta puukapulalla tai erityisellä muovisuojalla, mutta tällöinkin ero pientareen hyväksi säilyi. Istutuksessa, varsinkin kookkailla turverullataimilla palteeseen viljelyn tulokset olivat suhteellisesti parempia, mutta taimimenetykset saattoivat tällöinkin olla huomattavat. Yleensä pientareiden paremmin elossapysyneestä taimijoukosta oli löydettävissä vähintään yhtä hyväkasvuinen taimijoukko kuin mitä oli tuholta säästynyt palteiden taimijoukko. Viitteitä todellisesta palteeseen istutuksen tuottamasta kasvun lisäyksestä havaittiin toistaiseksi vain turverullataimilla. Parhaiten istutustaimet 4 vuoden jälkeen kasvoivat 10—20 cm paksuissa palteissa. Pientareissa kasvu oli parasta, kun taimet istutettiin mahdollisimman kauas aurausvaosta. Yhdistämällä pientareesta ja palteesta parhaiten menestynyt taimijoukko saatiin aina parempi lopputulos kuin kummastakin pienmuodosta erikseen. Päivänpuoleisissa pienmuodoissa taimet kasvoivat paremmin kuin varjonpuoleisissa. Kylmänä kesänä myös kylvön onnistuminen oli päivänpuoleisissa pienmuodoissa selvästi parempi.

Auratuilla alueilla vertailtujen kylvömenetelmien väliset tuloserot olivat suhteellisen pieniä. Suojakylvö onnistui kuitenkin selvästi paremmin kuin tavanomainen vakoruutukylvö. Kuusen kylvö onnistui huonommin kuin männyn. Taimilajien väliset tuloserot istutuksessa jäivät niinikään keskimäärin pieniksi. Istutus onnistui paakkutaimilla yleensä paremmin kuin paljasjuurisilla. Onnistumisen havaittiin korreloivan positiivisesti viimeisen taimitarhakesän lämpösummaan. Kuta lämpimämpää taimitarhalla oli sitä parempi oli ilmeisesti taimisadon laatu. Kuusen istutus onnistui paremmin kuin männyn. Myös alustavat istutuskokeilut lehtikuusella ja rauduskoivulla onnistuivat hyvin. Kylvön ja istutuksen keskimääräisessä onnistumisessa ei männyllä ollut eroa. Kuusella istutus onnistui selvästi paremmin kuin kylvö. Männyn taimien kasvu riippui kiinteästi taimien alkuperäisestä koosta ja maastokasvukausien lämpösummasta. Muita kuin taimien alkuperäisestä koosta johtuvia eroja ei taimilajienkaan kesken toistaiseksi havaittu. Kuusen taimet kasvoivat männyn taimia hitaammin.

Viljelytulosten vaihtelusta auratuilla alueilla voitiin erottaa pohjoisuuden, alueen korkeuden ja samalla ilmaston kylmenemisen myötä tapahtuva tulosten huononeminen. Voimakkaasti samaan suuntaan vaikutti ilmaston humidisuus ja havaittavasti myös jättöpuut. Entisen metsän koivusekoituksen ja vielä selvemmin kuusivaltaisuuden myötä tulokset paranivat. Pohjimmiltaan kysymyksessä ilmeisesti oli kasvupaikan viljavuuden paranemisen vaikutus. Edellä mainittujen lisäksi tuloksiin näytti vaikuttavan negatiivisesti hakkuualan vanhuus, kivisyys ja maan hienojen lajitteiden runsaus, positiivisesti maan A-horisontin paksuus ja yleisemmin maan läpäisevyys. Näiden tekijöiden konstellaatio aineistossa oli kuitenkin sellainen, että täyttä varmuutta niiden merkityksestä ei saatu.

Appendix 1. General description of research areas.

Number of area	Objective of experiment	SITE: Location	Elevation, m	Average number of degree days, d.d.	Forest site type	Humus layer, cm	A-horizon, cm	B-horizon, cm	Stoniness % of volume	Soil class	Proportion of fine soil fractions (<0,02 mm), weight %	Exposure, inclination and direction of slope	Size of clear-cut area, ha	Nearest forest edge, distance (m) and direction
1	Effect of ploughing	66° 41′ N, 28° 36′ E	270	730	HMT	4	9	14	17	Fine-sand moraine	11	1 E	500	250 S
2	» »	»	270	730	EMT	3	10	13	34	Sandy moraine	6	2 E	500	400 S
3	» »	»	270	730	EMT swampy	4	9	9	13	Fine-sand moraine	13	0	500	150 S
4	Reforestation method of ploughed area	»	220	785	EMT	7	7	6	5	Sandy moraine	..	2 N	300	800 W
5	»	»	240	760	HMT	9	6	10	2	»	..	4 S	300	1000 W
6	»	»	220	785	KR	>30	..	..	..	Peat	..	3 NW	300	30—1000 N
7	Effect of ploughing and nurse crop	67° 58′ N, 24° 13′ E	310	670	HMT	2	7	10	57	Sandy moraine	12	1 SW	0	0
8	»	67° 28′ N, 24° 40′ E	220	780	HMT	4	12	16	17	»	9	1 E	0	0
9	»	64° 44′ N, 26° 27′ E	250	740	HMT	2	9	7	42	»	14	1 N	0	0
10	Date of reforestation	66° 18′ N, 25° 38′ E	220	845	EMT	2	9	10	60	»	12	4 E	40	40 E
11	Reforestation method of ploughed area	68° 22′ N, 27° 11′ E	280	650	ErCLT	4	5	25	77	»	12	0	—	—
12	»	68° 7′ N, 25° 36′ E	340	630	ErCLT	3	9	25	73	»	9	2 NE	50	30 S
13	»	68° 7′ N, 25° 7′ E	310	650	ErCLT	2	7	12	40	»	14	1 E	50	—
14	»	67° 45′ N, 23° 46′ E	300	705	EMT swampy	7	15	13	60	»	11	0	—	—
15	»	67° 45′ N, 23° 46′ E	270	725	HMT	3	4	8	32	»	6	1 NW	90	50
16	»	63° 37′ N, 24° 36′ E	255	740	HMT	6	9	27	23	»	12	0	50	300 E
17	»	»	255	740	HMT	6	9	27	23	»	12	0	50	200 E
18	Reforestation method of ploughed area and date of reforestation	»	260	730	HMT	6	11	11	33	»	14	1 SE	50	200 E
19	Reforestation method of ploughed area	»	255	730	HMT swampy	7	15	24	43	»	9	0	50	100 E
20	»	67° 21′ N, 25° 7′ E	250	755	EMT	3	7	12	6	»	20	1 N	50	200 NE
21	»	»	250	755	EMT	2	6	11	37	»	12	1 E	50	200 W
22	»	»	250	755	EMT swampy	7	17	16	67	»	6	2 SW	50	300 E
23	»	67° 16′ N, 27° 51′ E	240	770	EMT	4	6	15	57	»	4	1 SE	50	150 N
24	»	»	195	800	Kg R	18	7	28	13	Fine-sand moraine	9	1 N	50	70 N
25	»	»	230	780	HMT	3	7	13	7	Fine sand	9	2 N	10	30 W
26	»	»	250	760	HMT	5	8	16	37	Sandy moraine	11	0	50	300 N
27	»	»	230	780	HMT swampy	16	20	25	77	»	7	3 SW	50	400 W
28	»	66° 42′ N, 28° 46′ E	365	710	ErCLT	3	7	14	30	»	4	2 N	50	200 E
29	»	»	345	720	EMT swampy	16	5	23	20	»	6	3 N	50	50 E
30	»	»	355	715	EMT swampy	8	7	27	22	»	7	3 NE	50	800 E
31	»	»	350	720	HMT	13	13	21	3	Sand	6	4 S	50	400 E
32	»	»	340	725	HMT	6	12	27	40	Sandy moraine	5	3 SW	50	100 N
33	»	»	340	725	HMT swampy	5	10	26	40	»	4	2 SW	50	200 N
34	»	66° 32′ N, 25° 1′ E	200	850	ECT	7	13	20	33	Sand	3	1 S	50	400 N
35	»	66° 28′ N, 25° 15′ E	145	890	EVT	8	17	34	60	Sandy moraine	3	4 NE	50	100 E
36	»	»	145	890	EVT swampy	10	23	16	17	Sand	1	3 NE	50	50 NE
37	»	»	150	885	EVT	4	19	25	27	»	2	1 S	50	50 E
38	»	66° 25′ N, 25° 1′ E	130	900	VMT	10	9	19	13	Fine-sand moraine	27	2 W	50	500 E
39	»	66° 28′ N, 25° 15′ E	140	895	VMT swampy	6	13	20	57	Sandy moraine	2	5 N	50	250 ES
40	»	66° 14′ N, 25° 59′ E	130	910	ECT	4	11	20	6	Sand	4	0	5	50 E
41	»	66° 17′ N, 26° 32′ E	215	850	EVT	3	12	15	43	Sandy moraine	12	4 N	50	20 W
42	»	»	220	845	EVT swampy	8	9	16	33	»	10	0	50	2000 NE
43	»	»	210	850	VMT	3	11	19	40	Fine-sand moraine	16	3 S	50	300 S
44	»	66° 25′ N, 25° 59′ E	130	910	VMT swampy	8	12	28	30	»	22	2 N	50	50 E
45	»	66° 3′ N, 27° 33′ E	230	850	EVT	3	7	22	53	Sandy moraine	3	1 E	50	10 S
46	»	»	230	850	VMT	6	14	18	37	»	6	8 S	50	150 NW
47	Reforestation method of ploughed area and date of reforestation	»	230	850	VMT	3	11	17	43	»	6	6 S	50	1000 N
48	Reforestation method of ploughed area	»	215	860	VMT swampy	5	16	27	33	»	7	2 N	50	500 W

Appendix 1. cont.

Number of area	PREVIOUS FOREST: Species composition, % Scots pine	Norway spruce	Hardwoods	Cutting year	Amount of cut timber	Amount of slash	Remnant trees: Scots pine Trees/ha	$\bar{h}$, m	Norway spruce Trees/ha	$\bar{h}$, m	Hardwoods Trees/ha	$\bar{h}$, m	SOIL TREATMENT: Year	Method	Evaluation of treatment results
1	40	40	20	1966	Large	Medium	2	3	—	—	5	11	1967—68	Random: 1. scalping, 2. prescribed-burning and scalping,	Medium
2	50	30	20	1966	Large	Medium	—	—	10	3	17	8	1967—68	3. ploughing, furrows 5 m apart in direction NW-SE,	Medium
3	60	20	20	1966	Medium	Medium	—	—	6	5	16	7	1967—68	4. prescribed-burning and ploughing	Poor
4	10	60	30	1965	Large	Large	—	—	5	3	—	—	1967	Ploughing, furrows 4 m apart in directions NE-SW and NW-SE	Good
5	40	40	20	1965	Medium	Small	—	—	—	—	—	—	1966—67	prescribed-burning and ploughing, furrows 4 m apart in direction N-S	Good
6	50	40	10	1965	Medium	Small	3	2	2	3	—	—	1967	Ploughing, furrows 4 m apart in directions N-S and E-W	Medium
7	0	10	90	1972	15—65 m³/ha	Medium	Random: 1. clear cut, 2. birch 150—200;						1972	Random: 1. scalping, 2. ploughing, furrows 8 m apart in direction N-S	Good
8	0	10	90	1973	15—70 »	Medium	5—7, 3. birch 300—400; 11—14,4. birch						1973	Random: 1. scalping, 2. ploughing, furrows 8 m apart in direction NW-SE	Medium
9	0	5	95	1971	45—100 »	Medium	600—800; 10—13						1971	Random: 1. scalping, 2. ploughing, furrows 6 m apart in direction N-S	Good
10	50	25	25	1970	Medium	Small	—	—	150	4	—	—	1972	Ploughing, furrows 5 m apart in direction E-W	Good
11	90	—	10	1967	Small	Medium	50	15	—	—	200	5	1969	Ploughing. furrows 4 m apart in direction E—W	Medium
12	0	90	10	1967	Small	Medium	1	4	2	3	30	4	1969	» » 5 m » » » NE—SW	Medium
13	5	5	90	—	—	—	10	5	5	7	20	4	1969	» » 5 m » » » E—W	Good
14	60	20	20	—	—	—	15	7	100	5	500	5	1970	» » 7 m » » » NE—SW	Medium
15	25	50	25	1960	Small	Small	50	16	—	—	—	—	1970	» » 6 m » » » SE—NW	Good
16	0	80	20	1968	Small	Medium	—	—	40	4	150	7	1969	» » 5 m » » » NW—SE	Medium
17	0	80	20	1968	Small	Medium	—	—	40	4	150	7	1969	» » 5 m » » » NW—SE	Medium
18	0	90	10	1968	Small	Medium	—	—	—	—	200	8	1969	» » 5 m » » » NE—SW	Medium
19	0	90	10	1968	Small	Medium	—	—	70	4	125	7	1969	» » 5 m » » » NE—SW	Medium
20	80	—	20	1962	Medium	Medium	28	15	26	3	8	4	1969	» » 5 m » » » N—S	Good
21	60	20	20	1962	Medium	Small	—	—	—	—	—	—	1969	» » 5 m » » » N—S	Good
22	50	30	20	1962	Medium	Small	10	9	—	—	8	5	1969	» » 4 m » » » NE—SW	Medium
23	90	—	10	1960	Large	Small	10	15	—	—	—	—	1969	» » 5 m » » » NW— SE	Medium
24	80	10	10	1960	Medium	Small	10	15	—	—	200	4	1969	» » 5 m » » » N—S	Good
25	40	40	20	1960	Medium	Medium	4	13	20	4	30	7	1969	» » 5 m » » » N—S	Good
26	0	80	20	1960	Medium	Medium	3	11	10	4	1	10	1969	» » 5 m » » » N—S	Medium
27	10	70	20	1960	Large	Medium	5	14	40	3	60	6	1969	» » 5 m » » » NE—SW	Poor
28	0	80	20	1962	Medium	Medium	—	—	10	3	20	8	1969	» » 5 m » » » N—S	Medium
29	0	60	40	1962	Small	Small	—	—	15	3	20	5	1969	» » 5 m » » » N—S	Medium
30	0	80	20	1962	Small	Small	—	—	30	3	10	6	1969	» » 5 m » » » NE—SW	Medium
31	0	80	20	1962	Medium	Medium	—	—	—	—	20	6	1969	» » 5 m » » » E—W	Medium
32	0	80	20	1962	Medium	Large	—	—	10	3	20	8	1969	» » 5 m » » » NE—SW	Medium
33	—	80	20	1962	Medium	Large	—	—	20	3	30	6	1969	» » 5 m » » » NE—SW	Medium
34	20	70	10	1968	Medium	Medium	2	8	4	3	12	7	1969	» » 5 m » » » E—W	Good
35	0	90	10	1968	Small	Small	—	—	60	5	45	9	1969	» » 5 m » » » NE—SW	Medium
36	0	85	15	1968	Small	Medium	—	—	160	4	90	5	1969	» » 5 m » » » NE—SW	Medium
37	0	80	20	1968	Medium	Medium	6	4	20	5	40	5	1969	» » 5 m » » » NW—SE	Medium
38	0	80	20	1968	Medium	Medium	—	—	—	—	—	—	1969	» » 5 m » » » NW—SE	Good
39	10	60	30	1968	Medium	Medium	—	—	30	4	40	7	1969	» » 5 m » » » N—S	Medium
40	90	10	0	1956	Medium	Small	80	4	8	3	—	—	1969	» » 5 m » » » N—S	Good
41	70	20	10	1958	Medium	Small	20	2	—	—	—	—	1968	» » 5 m » » » N—S	Medium
42	50	30	20	1958	Medium	Small	20	12	21	7	22	5	1968	» » 5 m » » » E—W	Medium
43	80	20	0	1958	Large	Small	2	15	—	—	—	—	1968	» » 5 m » » » NE—SW	Medium
44	30	30	40	1968	Medium	Small	4	4	—	—	30	3	1969	» » 5 m » » » NW—SE	Poor
45	70	10	20	1965	Medium	Medium	20	4	10	3	—	—	1969	» » 4 m » » » NE—SW	Medium
46	80	10	10	1965	Medium	Medium	—	—	16	4	5	4	1969	» » 5 m » » » N—S	Good
47	10	80	10	1965	Medium	Medium	—	—	50	4	10	4	1969	» » 5 m » » » N—S	Medium
48	0	80	20	1965	Large	Large	—	—	30	3	30	4	1969	» » 5 m » » » N—S	Medium

ODC
56:
181

ANNUAL PRIMARY PRODUCTION AND NUTRIENT CYCLE IN A BIRCH STAND

EINO MÄLKÖNEN

Seloste

VUOTUINEN PRIMÄÄRITUOTOS JA RAVINTEIDEN KIERTOKULKU ERÄÄSSÄ KOIVIKOSSA

HELSINKI 1977

ODC 56:181
ISBN 951-40-0275-X
ISSN 0026-1610

MÄLKÖNEN, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Seloste: Vuotuinen primärituotos ja ravinteiden kiertokulku eräässä koivikossa. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (5): 1—35.

The distribution of the dry matter of the stand vegetation, its annual biomass production and nutrient cycle (N, P, K, and Ca) in a 40-year old birch stand growing on an *Oxalis-Myrtillus* site has been studied. The experimental stand was located in southern Finland (N 61°37′ and E 24°9′). The tree crop was composed of 84 per cent hairy birch (*Betula pubescens* Ehrh.) and 16 per cent warty birch (*B. verrucosa* Ehrh.).

The total biomass of the birch stand was 116 670 kg/ha and its annual production 10 320 kg/ha. The dry matter of the ground vegetation represented only 2,3 per cent of the biomass of the stand. However, its proportion out of the total annual production of the stand was about 15 per cent.

The nutrient requirements of birch crop were 9,3 kg N, 0,8 kg P, 4,0 kg K, and 4,8 kg Ca per 1 000 kg biomass produced. Of the total amount of nutrients bound annually by the vegetation 20—40 per cent was bound in the ground vegetation.

Tutkimuksessa selvitetään kasvillisuuden vuotuista biomassan kokonaistuotosta ja ravinteiden kiertokulkua (N, P, K ja Ca) 40-vuotiaassa käenkaali-mustikkatyypin koivikossa. Tutkimusmetsikkö sijaitsi Oriveden Siitamassa. Puustosta oli 84 % hiestä (*Betula pubescens* Ehrh.) ja 16 % raudusta (*B. verrucosa* Ehrh.)

Koivikon biomassan kokonaismäärä oli 116 670 kg/ha ja sen vuotuinen tuotos 10 320 kg/ha. Aluskasvillisuuden kuiva-aine muodosti vain 2,3 % metsikön biomassasta, mutta sen osuus metsikön vuotuisesta kokonaistuotoksesta oli n. 15 %.

Puusto käytti 9,3 kg N, 0,8 kg P, 4,0 kg K ja 4,8 kg Ca tuotettua kuiva-ainetonnia kohti. Heinien ja ruohojen vallitsema aluskasvillisuus käytti 20—40 % metsikön biomassaan vuosittain sitoutuneista ravinteista.

ISBN 951-40-0275-X
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

PREFACE

This study is part of the project undertaken by the Department of Soil Science, Finnish Forest Research Institute, into the nutrient balance of tree stands.

Most of the field work involved in the study has been carried out by Forest Technicians A l p o H e i k k i n e n and R e i j o J o k i n e n. The nutrient analyses have been carried out in the laboratories of the Department of Soil Science. Mrs. M a r j a H u o t a r i has helped in the computing and Miss H i l l e v i S i n k k o has drawn the figures. Mr. J o h n D e r o m e, M.Sc., has translated the original text into English. Prof. P. J. V i r o, Dr. M a t t i L e i k o l a, and Dr. E e r o P a a v i l a i n e n have kindly checked the manuscript.

I would like to extend my thanks to all those people who have given their assistance in the various stages of the study.

Helsinki, March 1977

Eino Mälkönen

CONTENTS

1. INTRODUCTION 5
2. METHODS AND MATERIAL 6
21. Sample plot and sampling procedure 6
22. Treatment of the data 8

3. DISTRIBUTION OF DRY MATTER IN THE STAND 9
31. Tree crop 9
32. Ground vegetation 11
33. Annual biomass production 12
34. Annual litter production 14
35. Soil organic matter 15
36. Annual balance of biomass 16

4. DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE STAND 17
41. Nutrient stores in soil 17
42. Nutrient amounts bound by vegetation 18
43. Nutrient amounts in the litter crop 20
5. NUTRIENT CYCLE IN THE STAND 21
51. Annual nutrient balance of the stand 21
52. Discussion 23

6. SUMMARY 25
REFERENCES 26
SELOSTE 29
APPENDICES 30

Abbreviations used:

d overbark diameter at breast height, cm

h tree height, m

$\frac{\triangle h}{h}$ crown ratio, %

1. INTRODUCTION

The raising of birch stand has long been a topic of lively discussion within silvicultural circles in Finland. Attention has been drawn to, among other things, the fast growth rate of birch at young age and its role as a soil improving tree species. It is well known that birch litter has a beneficial effect on certain properties of the humus in comparison to the litter of, for instance, Norway spruce and Scots pine (Viro 1955, Mikola 1965).

The preferred birch species has always been warty birch (*Betula verrucosa* Ehrh.) which, owing to its faster growth and better stem form, is a more valuable tree than the other birch species common in Finland, hairy birch (*Betula pubescens* Ehrh.). As the costs of silvicultural measures continue to rise, the growing of naturally regenerated hairy birch stands, despite the lower value of the timber, is of more interest than ever (Saramäki 1976, Keltikangas and Seppälä 1977).

Both species of *Betula* thrive rather well on different mineral soil site types (Sarvas 1949). However, when the raising of birch stand is being carried out, its site requirements should be carefully considered. Viro (1974) has concluded, on the basis of fertilization experiments, that birch is more demanding than Scots pine, and that its nutrient optimum is lower than that of Norway spruce. Warty birch is regarded as being more demanding, as far as nutrients are concerned, than hairy birch (Sarvas 1956).

While keeping in mind the nutrient consumption of the birch stand, the aim of the study was to determine the amount of

— annual total production of biomass and

— macro nutrients (N, P, K, and Ca) required in annual production.

2. METHODS AND MATERIAL

21. Sample plot and sampling procedure

A sample plot for the determination of the nutrient requirements of a birch stand was established in 1970 in a 40-year old stand situated at Orivesi in southern Finland (N 61°37′ and E 24°9′). The size of the sample plot was 40 × 40 m.

Table 1. Particle size composition of the surface mineral soil.

Soil layer, cm	Particle size, mm			
	2—0,2	0,2—0,02	0,02—0,002	<0,002
	Weight %			
0—10	40,0	45,5	12,4	2,1
10—20	37,2	45,2	14,8	2,8
20—30	40,5	43,9	13,1	2,5
30—60	33,8	47,3	16,6	2,3

The experimental stand was growing on a fine-sand moraine site (Table 1) at a height of 160 m above sea level. The average thickness of the humus layer was 3,9 cm and the stoniness of the uppermost 30 cm-thick mineral soil layer, 28 per cent by volume. The birch stand had been naturally regenerated and, despite repeated light thinnings, was considered as being fully-stocked (Table 2). The stand was composed of 84 per cent hairy birch and 16 per cent warty birch. Judging by the growth of the trees (cf. K o i v i s t o 1959) and the species composition of the ground vegetation (Table 3), the site was considered to be of the *Oxalis-Myrtillus* type (cf. C a j a n d e r 1949).

Table 2. General characteristics of tree crop.

Age, yrs	40
Stem number per ha	1 012
Diameter of median basal area tree (d_gM), cm	16,0
Height corresponding to median diameter (h_gM), m	18,3
Dominant diameter, cm	21,9
Dominant height, m	20,6
Basal area o.b., m^2/ha	18,03
Volume o.b., m^3/ha	155,35
Current annual increment o.b., m^3/ha/yr.	6,10

In order to determine the biomass and nutrient content of the above-ground part of the stand, 20 sample trees were chosen by stratified random sampling. The biomass for the stumps and roots (⌀ > 1 cm), however, was based on the data from six sample trees only. The other part of the root system was determined from 20 soil samples, taken by means of a soil sampler having a cross-sectional area of 20 cm². Ground vegetation samples were taken from 20 sample squares, the surface area of each being 0,50 m².

In order to determine the quantity of the litter crop in the stand, eight litter funnels with an open surface area of 0,50 m² each, were placed on the sample plot at the start of the experiment. The litter funnels were emptied once every two weeks except during the winter. The tree crop measurements and collection of samples from different parts of the vegetation were carried out in August 1973.

The sampling method used in this study and the methods used in determining the dry weight and nutrient content have been described in detail in an earlier publication (Mälkönen 1974).

Table 3. Coverage and frequency of plant species.

Plant species	Coverage, %	Frequency, %
Mosses		
Dicranum spp.	0,6	15
Drepanocladus uncinatus	2,1	35
Pleurozium schreberi	0,8	15
Polytrichum spp.	1,0	5
Rhytidiadelphus triquetrus	*A*	5
Grasses		
Calamagrostis arundinacea	3,2	20
Calamagrostis epigeios	10,0	75
Deschampsia flexuosa	6,5	40
Melica nutans	3,9	70
Milium effusum	0,5	5
Herbs		
Angelica silvestris	0,2	5
Cirsium heterophyllum	3,8	30
Convallaria majalis	3,3	45
Dryopteris linnaeana	2,4	80
Equisetum silvaticum	0,2	5
Lathyrus vernus	0,1	5
Listera ovata	*A*	5
Luzula pilosa	1,2	70
Maianthemum bifolium	6,7	100
Melampyrum pratense	4,2	95
Melampyrum silvaticum	0,4	35
Oxalis acetosella	2,2	65
Rubus saxatilis	17,9	90
Solidago virgaurea	1,7	70
Trientalis europaea	1,4	70
Viola riviniana	0,1	35
Dwarf shrubs		
Pyrola rodundifolia	0,1	10
Pyrola secunda	0,2	15
Vaccinium myrtillus	0,4	20
Vaccinium vitis-idaea	1,0	50

22. Treatment of the data

The aim of the data processing was to obtain regression equations which could be used to express the dependence of the dry-weights of the different tree compartments on some easily measurable tree characteristics. The measurements made on the individual sample trees (Table 4) were used as the starting point of the examination. It was evident from the dependence (Table 5) between the sample tree characteristics and the dry-weights of the different compartments of the trees, that either the stem diameter alone or combined with the height of the trees in a suitable transformation, were most strongly correlated with the dry-weight of the different compartments of the tree. Therefore, the volume index (d^2h) of the tree was chosen as the independent variable for the dry weight of the different compartments of the tree. The method used to calculate the results is consistent with that used in an earlier study on the nutrient cycle in Scots pine stands (Mälkönen 1974).

Table 4. The tree characteristics and dry weight of different compartments of the sample trees.

Tree characteristic	Mean ($\bar{x}$)	Standard deviation (δ)	Min.	Max.
Diameter, cm	16,1	5,2	9,0	28,0
Height, m	18,0	2,6	13,0	22,4
Volume, m^3	0,200	0,155	0,045	0,633
Crown ratio, %	52,1	10,0	33,9	69,1
Dry weight, kg				
Stemwood	83,12	64,40	18,30	262,20
Bark	14,22	11,77	3,51	45,55
Dead branches	0,53	0,88	0,01	3,96
Living branches	12,27	13,86	1,77	51,09
Leaves	3,78	3,35	0,52	11,64
Stumps	10,74	6,71	2,17	19,37
Roots, ø > 1 cm	37,80	28,33	7,71	96,86

Table 5. Coefficients of correlation between the dry weight of different tree compartments and certain tree characteristics.

Dependent variables ($\log_{10}$)	Independent variables ($\log_{10}$)					Significance	
	d	h	$\frac{\Delta h}{h}$	d^2h	$d^2\frac{\Delta h}{h}$		
Stemwood	0,989	0,893	0,233	0,996	0,934	n=20	
Bark	0,973	0,888	0,226	0,982	0,918	0,1%	0,652
Dead branches	0,510	0,440	0,246	0,517	0,525	1 %	0,537
Living branches	0,959	0,780	0,357	0,949	0,943	5 %	0,423
Leaves	0,957	0,829	0,279	0,957	0,918		
Stumps	0,986	0,761	0,210	0,966	0,955	n=6	
Roots, ø > 1 cm	0,974	0,797	0,205	0,996	0,950	0,1%	0,925
						1 %	0,834
						5 %	0,707

3. DISTRIBUTION OF DRY-MATTER IN THE STAND

31. Tree crop

Equations for the dry weight of the different compartments of the tree (Table 6) were calculated from the data for the sample trees using the volume index ($\log(d^2h)$) of the stem as the independent variable, since in most cases it gave the highest coefficient of determination. The noticeably high values of the coefficient of determination for these regression equations indicate that sufficiently accurate estimates for the dry weight of the different compartments of the tree can be obtained merely from the diameter and height of the tree. The variation of the dry weight of the crown compartments was, as anticipated, greater than that for the dry weights of the stem wood or stem bark (Appendix 1).

Table 6. Equations for the dry weight of different tree compartments.

Coefficient	Stemwood	Bark	Dead branches	Living branches	Leaves	Stumps	Roots, ø >1 cm
The basic form of the following equations is $\log y = a + b \log (d^2h)$							
a	—1,785	—2,311	—6,510	—3,810	—3,454	—3,540	—3,887
b	0,9910	0,9256	1,5593	1,2911	1,0961	1,1488	1,3668
r^2	0,990	0,966	0,267	0,901	0,906	0,960	0,994
s, kg	4,90	3,21	0,77	4,66	0,93	2,24	2,63

The amount of dry matter in the tree crop was calculated from the regression equations, using the data for the number and height of the stems per diameter class. The underestimates given by the regression equations, caused by the logarithmic transformation, were corrected according to the method presented by Finney (1941). The correction coefficients for the dry weights of the different tree compartments were as follows:

Stemwood	1,051
Bark	1,046
Dead branches	1,569
Living branches	1,097
Leaves	1,069
Stumps	1,059
Roots, ø > 1 cm	1,081

The proportion of the volume of warty birch out of the total volume of the stand was relatively small and hence there appeared to be no reason to examine the two birch species separately (Table 7). When determining the dry weight of the stem wood, the basic density values for hairy birch presented by H a k k i l a (1966) were used. The mean density accordingly is 481,9 kg/m³.

Table 7. Dry weight of the tree crop.

Compartment	kg/ha	%
Stemwood	67 100	58,7
Bark	11 400	10,0
Dead branches	250	0,2
Living branches	8 580	7,5
Leaves	2 900	2,5
Above-ground part	90 230	78,9
Below-ground part	24 130	21,1
Whole tree crop	114 360	100,0

The basic density of birch bark is usually slightly higher than that of the wood. On the basis of the data from the sample trees, the following values were obtained to depict the proportion of bark in the stem:

Proportion of bark out of stem volume	Proportion of bark out of stem weight	Mean density
13,6 %	14,5 %	513,5±56,4 kg/ha

According to T a m m i n e n (1970), the mean density of birch bark is about 500 kg/m³ and the variation along the stem is only very slight. K ä r k k ä i n e n (1976 a) has calculated that the mean density of birch bark varies from 498 to 536 kg/m³, depending on the timber assortment.

The crown consists of living branches and leaves. The proportion of bark out of the dry weight of the branches has not been determined in this study, but according to K ä r k k ä i n e n (1976 b) the percentage of bark depends on the diameter of the branches as follows:

Diameter, mm	Percentage of bark, weight per cent
1— 7	44,4
8—14	34,0
15—21	27,0
22—28	24,1

On the basis of these figures it can concluded that the proportion of bark out of the dry weight of the living branches in this experimental stand was at least 30 per cent.

The proportion of leaves out of the dry weight of the whole crown was about one quarter. According to J o k e l a and Y l ä n e n (1956), the dry weight of birch leaves varies from 1 400 to 3 500 kg/ha, depending on the site fertility and stand density.

The dry matter of the below ground part of the trees includes the dry weight of the thin roots obtained by washing soil samples and the dry weight of the stumps and roots with a diameter greater than 1 cm, as obtained from the equation.

The root system represents over one fifth of the total biomass of the tree crop. According to L a i t a k a r i (1935), the proportion of the root system of birch with a diameter greater than 10 cm varies from 44 to 62 per cent of the stem volume. This proportion is usually less on fertile sites than on poor ones.

The depth distribution of birch roots in the uppermost layers of the soil was as follows:

Humus layer	33,9 %
0—10 cm	34,7 »
10—20 »	21,2 »
20—30 »	10,2 »

According to L a i t a k a r i (1935), the mean depth of the horizontal root system of birch, weighted by the length of the roots, is on *Oxalis-Myrtillus* sites 15,4 cm.

32. Ground vegetation

The dry weight of the ground vegetation and shrub layer was determined for each group of plants at the end of July 1973 from samples taken when the coverage of the different plant species was estimated. Owing to the density of the tree stand, the ground vegetation in the experimental area was relatively sparse and consisted mainly of grasses and herbs (Table 8). There were very few mosses and dwarf shrubs on the experimental area.

Table 8. Dry weight of ground vegetation and shrubs.

Plant group	kg/ha	%
Mosses	90	3,5
Grasses	440	17,2
Herbs	430	16,8
Dwarf shrubs	40	1,6
Shrubs	100	3,9
Above-ground part	1 100	43,0
Below-ground part	1 460	57,0
Total	2 560	100,0

Birch, aspen, and rowan sprouts, of which, however, there were rather few on the experimental area, were considered as belonging to the shrub layer. As it was not possible to distinguish the roots of these sprouts from the roots of the large trees, they have been included in the amount of roots of the tree crop.

When examining the amount of biomass in the ground vegetation, it should be borne in mind that the estimation is based on the results of a single sampling and thus show the situation at that particular time. Changes taking place in the sub-communities of the ground vegetation within the growing season thus remain at least partly outside the scope of this study.

The proportion of the root system out of the dry matter of the ground vegetation was 57,0 per cent. The root system of the ground vegetation is distributed throughout the different layers of the soil as follows: humus layer 46,6 per cent, 0—10 cm 27,3 per cent, 10—20 cm 15,0 per cent, and 20—30 cm 11,1 per cent. Thus the roots of the ground vegetation clearly lie closer to the ground surface than those of birch.

33. Annual biomass production

Tree crop

There are many methodical problems involved in the determination of the annual total production of the tree crop, since on the basis of a single measurement only the volume increment of the stems can be calculated using the ordinary methods employed in the estimation of stand increment. The average annual biomass production of stem wood was calculated on the basis of the dry weight of the stem wood and the volume increment percentage of the trees. The increment percentage for the stem wood weighted with the volumes represented by the sample trees, was 4,09 per cent.

The annual biomass production of stem bark was calculated from the difference between the over and underbark volume increment and the basic density of the bark. The annual volume increment of the stem bark was 0,59 m^3/ha, the annual increase in the dry weight of the bark thus being 2,7 weight per cent. However, this method does not take the thickness growth of the bark into account and therefore the value for bark production was slightly underestimated.

The biomass production of the living branches was calculated using a model based on the time-power function (R i c h a r d s 1969), which in the branch material sampled, describes the relative growth of the branches as follows:

$$\log y = 1{,}233 + 1{,}710 \log t$$
$$r = 0{,}835$$
$$n = 94$$

where y refers to the dry weight of the branch wood with bark, and t the age of the branches. The age of the branches was taken as the mean age of the corresponding

one-meter long stem bolts. The regression coefficient (k), for which the value 1,710 was obtained, describes the growth rate of the branches. The annual biomass production of the branches was obtained by multiplying the dry weight (y) of the branches from each bolt by the ratio k/t, and then adding together all the values for each tree (W h i t t a k e r 1965). The increment percentage for the branches, weighted whith the dry weights represented by the sample tree branches, was 11,5 per cent. The method used to estimate the biomass production of the branches frequently gives estimates which are greater than those obtained by annual ring analysis (H y t t e b o r n 1975). Owing to the method used to collect the samples, the value for biomass production of the leaves is based on one year's leaf crop only. Biomass production of the leaves was 2 900 kg/ha (Table 7). The proportion of the leaf biomass out of the total biomass production of birch is rather large (Table 9).

Table 9. Annual biomass production of the vegetation.

Compartment	kg/ha	%
Stemwood	2 740	26,6
Bark	300	2,9
Branches	990	9,6
Leaves	2 900	28,1
Above-ground part of the tree crop	6 930	67,2
Below-ground part of the tree crop	1 850	17,9
Whole tree crop	8 780	85,1
Ground vegetation and shrubs	1 540	14,9
Total	10 320	100,0

It is not possible to measure the annual biomass production of the root system directly by the present methods. The production of the below ground part of the tree crop was therefore estimated from the increment percentage of the above ground part of the tree crop.

According to O v i n g t o n and M a d g w i c k (1959), the annual biomass production of the above ground part of stands composed of warty and hairy birches remains farily constant once the stand has reached an age of 20 years, and at its highest is about 8 000 kg/ha. The results obtained in this study are in good agreement with this.

Ground vegetation

It was possible to measure only a small part of the annual biomass production of the ground vegetation by direct measurements. According to R o m e l l (1939), for

instance, the biomass of *Pleurozium schreberi* represents the total production during three growing seasons. The amount of dry matter should therefore be divided into three parts in order to obtain the annual production for each of the growing seasons (cf. Kellomäki and Hari 1977).

The above ground parts of grasses and herbs are annual and hence represent the total production for the year in question. The underestimate caused by the fact that parts of the vegetation develop at different times during the growing season is especially apparent in the biomass production of grasses (Persson 1975).

The increment percentage for the above ground parts of the dwarf shrubs was obtained by weighing the shoots from samples taken during the measurement year. The increment percentage was 44 for *Vaccinium myrtillus* and 42 for *V. vitis-idaea*.

34. Annual litter production

Of the total amount of litter produced by the vegetation, it was possible to measure directly only that part which falls to the ground from the above ground parts of the tree crop. The litter derived from the root system and the ground vegetation was estimated by indirect means. To obtain exact information about the litter fall of the tree crop a large number of litter funnels would be required, because when eight funnels were used the variation coefficient of larger litter samples was 20 per cent and that of the most generally occuring samples 30—35 per cent.

The average quantity of litter in the birch crop was divided up as follows:

Leaves	1 880	kg/ha/yr
Branches	190	»
Bark	10	»
Reproductive organs	60	»
Residual	210	»
Total	2 350	kg/ha/yr

The results for the litter fall, especially those for the bark litter, are all underestimated because the upper edge of the litter funnel was at a height of 1,0 m above the ground and any bark coming loose from the tree below this height would not fall into the funnel. Furthermore, it was not possible to distinguish the fine fractions of bark from »residual litter» and hence the actual amount of bark was reduced.

The figures for the amount of litter in birch stands, presented by Viro (1955), are on average slightly less than those found in this study, and the results presented by Mikola (1965) greater. Knudsen and Mauritz-Hansson (1939) obtained a figure of 1 770 kg/ha for the leaf litter of a hairy birch stand growing in the Stockholm region. However, the annual litter crop of the birches was only 2,6 per cent of the dry matter of the above ground parts of the birches.

Litter studies based on measurements made over relatively short periods of time can easily contain errors caused by the annual variation in the litter crop. The annual timing and variation in the leaf litter crop are greatly dependent on the annual cycle of the trees which are themselves controlled by temperature factors (S a r v a s 1972).

The leaf litter of birch, which represents in this type of stand about 70 per cent of the litter fall, is also very important for the development of the ground vegeration. According to J o k e l a and Y l ä n e n (1956), the leaf litter in principle forms a 2—3 leaves thick layer on the soil surface, thus limiting the growth possibilities of mosses.

35. Soil organic matter

The good biological condition of the soil in a birch stand is usually considered to be due to the fact that birch litter, as a result of its organic and inorganic composition, decomposes at a faster rate than coniferous litter. However, the differences between various types of litter are not so great that they alone could account for the great variations in decomposition rate which have been observed in stands made up of different tree species. For instance, cellulose in an *Oxalis-Myrtillus* type birch stand decomposes at three times the rate of cellulose in a spruce stand growing on a site of the same fertility (L ä h d e 1966). Therefore, it has been concluded that the ecological conditions in birch stands are generally more favourable for litter decomposition than those in coniferous stands (S i r é n 1955). In comparison to other deciduous tree species, birch produces litter which clearly decomposes the slowest (M i k o l a 1954).

The amount and distribution of organic matter, which had accumulated as a result of the gradual decomposition of the litter, in the soil profile of the experimental birch stand were as follows.

Humus layer	24,8 tn/ha
0—10 cm	26,2 »
10—20 »	13,9 »
20—30 »	7,4 »
30—60 »	12,3 »
Total	86,4 tn/ha

It is apparent that almost one third of the organic matter of the soil was in the humus layer. Althought the humus in the humus layer was to some extent of the moder type, not very much organic matter had been mixed into the compact underlying mineral soil layer. The distribution of the organic matter in the soil profile is the result of a development taking place over long periods of time, because the humus which is carried down into the mineral soil is rather stable and may be hundreds of years old (T a m m and H o l m e n 1967).

36. Annual balance of biomass

Within the space of one year the biomass of the stand increases as a result of stand growth but at the same time there is a removal of biomass as litter. The proportion of biomass removal also increases until its death or detachment from the plant. Removal increment in a stand is obviously rather small during a one year period, and it was not possible to take it into account apart from that of the flowers and branches of birch. On the other hand, the total production of the ground vegetation was underestimated because the biomass produced by the sub-communities during the spring was not included.

The annual balance of biomass for the whole birch stand, calculated according to the method described by Mälkönen (1974), is presented in Table 10.

Table 10. The annual development of biomass in the stand.

Biomass changes	kg/ha	%
Biomass at the beginning of measurement period	110 800	100,0
Annual total production	10 390	9,4
Annual removal	4 520	4,1
Annual net production	5 870	5,3
Biomass at the end of measurement period	116 670	105,3

The annual biomass production of the birch stand was rather high. The stemwood production of a birch stand in a natural state is higher, for instance, than the corresponding production of a Norway spruce stand up to the age of about 55 years (cf. Ilvessalo 1920). However, the stemwood production represented only one quarter of the total biomass production and the dry weight of the leaf crop was of the same magnitude as the stemwood production. It has been calculated on the basis of the earlier mentioned production figures, that the annual net assimilation of the leaves in the birch stand was 3,0 kg per kilogramme of leaf dry matter. This figure is about twice the biomass produced annually by the needles in a Scots pine stand of the same age (Mälkönen 1974).

The stemwood production of a fully stocked naturally regenerated birch stand in South Finland reaches a maximum at an age of 35—45 years (Koivisto 1959). Thus biomass production of the experimental stand was at the stage of the maximum annual current increment. Hairy birch is fully mature at an age of between 60—70 years, and warty birch between 110—130 years (Sarvas 1956).

4. DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE STAND

41. Nutrient stores in soil

All of the nutrients organically bound in the soil are included in the biological nutrient cycle even though they may be mobilised at a very slow rate at greater depths in the soil. The amount of nutrients bound in the soil organic matter can be determined directly from the humus layer only. The nutrients in the soil which are in an available form for plants can also be considered to be included in the nutrient cycle.

The nutrient amounts were determined from the fine soil fraction (< 2 mm), the volume of the gravel, stones, and boulders being taken into account when calculating the results. It can be seen from Table 11, that almost 70 per cent of the total potassium and calcium in the humus layer was in an exchangeable form but only 23 per cent of phosphorus was easily soluable. The amount of mineralized nitrogen was not determined, but according to N ö m m i k (1968) and V i r o (1969) only about one per cent of the total nitrogen in forest soil is in a mineralized form in these conditions.

Table 11. The amount of total and available nutrients in the surface soil layers.

Soil layer	N	P	K	Ca	P	K	Ca
	Total amounts, kg/ha				Available amounts, kg/ha		
Humus layer	483	15	53	191	3,5	36	127
0—10 cm	801	.	.	.	2,3	29	112
10—20 »	472	.	.	.	1,6	20	66
20—30 »	270	.	.	.	1,0	14	27
30—60 »	429	.	.	.	3,6	32	45
Total	2 455				12,0	131	377

Since chemical soil analysis does not give any information about the rate of replacement of the nutrients taken up annually by the vegetation, the potential nitrogen mineralization has been estimated by means of the pH and the C/N ratio. The variation of these two properties in the soil profile of the sample plot was as follows:

Soil layer	pH (water)	C/N
Humus layer	4,6	29,8
0—10 cm	4,6	19,0
10—20 »	5,1	17,1
20—30 »	5,3	15,8

The pH values throughout the whole of the soil profile in the experimental stand were on average about 0,2 pH units lower than those in a soil profile of the *Oxalis-Myrtillus* type (U r v a s and E r v i ö 1974). However, they are typical for a birch stand growing on a site of this fertility level (M i k o l a 1965).

The C/N ratio of the humus layer was quite high. The decisive factor in the decomposition of organic matter is the ratio between the amounts of carbon and nitrogen actually available to the micro-organisms. Therefore attempts have been made to indicate the fraction of readily mineralizable nitrogen in the organic matter (N ö m m i k 1976).

Precipitation brings appreciable quantities of nutrients to the soil and also leaches them away. Especially the nitrogen brought by precipitation plays an important role in the nutrient balance of a stand (V i r o 1953, H a a p a l a 1972).

42. Nutrient amounts bound by vegetation

Tree crop

It is evident that there are variations in the nutrient content of the different tree compartments both between trees and also within the same tree, for instance in the longitudinal direction of the stem. The nutrient content of the different tree compartments were calculated as means of 20 sample trees (Appendix 2). Although the nutrient content of the stemwood was relatively small the nutrients are bound in the stemwood for a long time. Furthermore most of them are removed from the site during harvesting. The calcium content of the bark was rather high (cf. S r i v a s t a v a 1964). The nutrient content of the leaves was higher than that of the other birch compartments. As a general rule, it appeared that the variation in the calcium content between trees was frequently greater than that of the other nutrients. The variation in the nutrient content in the longitudinal direction of the stem can be seen in Appendix 3.

Large amounts of nutrients were bound in the biomass of the birch crop (Table 12). The amount of nitrogen and phosphorus was distributed rather evenly between the stems, crowns, and root system. Thus about one third of the total amounts of nitrogen and phosphorus were bound in each of the compartments respectively. Potassium and calcium, however, were both distributed such that half was bound in the stems and the rest in the crown and root system.

Table 12. Amount of various nutrients bound into the tree crop (kg/ha).

Compartment	N	P	K	Ca
Stemwood	55,69	6,58	24,29	37,98
Bark	54,04	4,67	44,80	69,65
Dead branches	0,67	0,04	0,09	0,73
Living branches	33,72	4,38	13,73	36,55
Leaves	70,18	5,63	29,00	31,15
Above-ground part	214,30	21,30	111,91	176,06
Stumps	4,83	0,55	2,37	2,51
Roots, ø > 1 cm	13,46	4,49	11,28	14,95
Roots, ø < 1 cm	36,84	5,32	11,60	29,00
Below-ground part	55,13	10,36	25,25	46,46
Total	269,43	31,66	137,16	222,52

Ground vegetation

The ground vegetation in birch stands was characterised by an abundance of grasses and herbs. These groups of plants are regarded as having much higher nutrient requirements than dwarf shrubs. The nutrient requirements of different groups of plants can to some extent be estimated on the basis of their nutrient contents (Appendix 4). In the study the nutrient contents of the plant groups were determined as the means of quadruplicate analyses. The nitrogen, phosphorus, and potassium contents of the grasses and herbs were clearly greater than those of the dwarf shrubs. Their potassium content was in some cases four to five times that of the dwarf shrubs. Owing to the high nutrient content of the ground vegetation, large amounts of nutrients had been bound into its biomass (Table 13). Thus the ground vegetation in birch stands plays a more important role as a consumer of nutrients than in coniferous stands (cf. M ä l k ö n e n 1974).

Table 13. Amount of various nutrients bound into the ground vegetation and shrubs (kg/ha).

Plant groups	N	P	K	Ca
Mosses	1,50	0,14	0,77	0,25
Grasses	6,22	0,70	10,03	1,10
Herbs	8,44	1,26	12,67	5,91
Dwarf shrubs	0,48	0,05	0,27	0,24
Shrubs	1,10	0,12	0,69	0,94
Above-ground part	17,74	2,27	24,43	8,44
Below-ground part	15,49	1,93	6,95	5,87
Total	33,23	4,20	31,38	14,31

43. Nutrient amounts in the litter crop

A considerable amount of the nutrients taken up by the vegetation returns to the soil in the litter. From the point of view of the nutrient cycle the leaf litter is clearly the most important portion of the litter fall of the tree crop. However, the nutrient content of the leaf litter, apart from calcium, is much lower than the nutrient content of the green leaves (cf. T a m m 1951). This is due to the fact that nutrients are translocated to the branches in the autumn when the leaves turn yellow as part of the internal nutrient cycle of the tree. This translocation of mobile nutrients satisfies a large part of the annual nutrient requirements of the tree crop. According to V i r o (1955), 66 per cent of the nitrogen, 51 per cent of the phosphorus, and 57 per cent of the potassium in birch leaves is translocated from the leaves at yellowing. These percentages correspond to the following amounts of nutrients in the experimental stand:

Nutrient	kg/ha/yr	Percentage of annual nutrient requirement
N	46	55
P	3	45
K	17	50

The sum of the translocated nutrients and those included in the leaf litter (Table 14) is in quite good agreement with the amounts found in the green leaves (Table 12).

Table 14. Average nutrient content of litter as a percentage of dry weight and amount of various nutrients returned to the soil in the litter fall.

Type of litter	N		P		K		Ca	
	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha
Leaves	1,096	20,60	0,122	2,29	0,528	9,93	1,517	28,52
Branches	0,696	1,32	0,051	0,10	0,112	0,21	0,603	1,15
Bark	1,386	0,14	0,105	0,01	0,219	0,02	0,416	0,04
Reproductive organs	1,666	1,00	0,161	0,10	0,499	0,30	0,636	0,38
Residual	1,554	3,26	0,145	0,30	0,330	0,69	0,566	1,19
Total		26,32		2,80		11,15		31,28

Despite the translocation of nutrients, birch litter is charaterised by a rather high nutrient content (Table 14) in comparison to coniferous litter. In particular, large amounts of calcium pass to the ground in birch litter with the result that the decomposition of organic matter in the soil is improved and hence the cycling of nutrients is speeded up. The amounts of nutrients returned to the soil in the litter fall annually were equivalent in this study to 10—18 per cent of the nutrients bound in the above ground parts of the tree crop. The amount of nutrients in the litter of the root systems of the tree crop and ground vegetation could not be directly determined. It can only be assumed that approximately the same proportions of nutrients are returned to the soil from these parts of the vegetation as from the above ground parts of the vegetation.

5. NUTRIENT CYCLE IN THE STAND

51. Annual nutrient balance of the stand

The nutrient balance of a stand can be described in terms of the annual amounts of nutrients that are bound to the vegetation and the amounts that are returned to the soil in the litter crop. The amount of nutrients bound annually in the vegetation can also be used to estimate the nutrient requirements of different plant groups per unit of dry-matter.

By far the largest part of the nutrients taken up annually in a stand is utilized in annual leaf crop production in a birch stand (Table 15). This greatly increases the nutrient requirements of birch in comparison, for instance, to Scots pine, which renews annually only about quarter of its total needle crop.

Table 15. Amount of various nutrients bound to the apparent annual production of biomass (kg/ha).

Compartment	N	P	K	Ca
Stemwood	2,27	0,27	0,99	1,55
Bark	1,42	0,12	1,18	1,83
Branches	3,89	0,50	1,58	4,22
Leaves	70,18	5,63	29,00	31,15
Stumps and roots	4,23	0,79	1,94	3,56
Tree crop	81,99	7,31	34,69	42,31
Ground vegetation	22,06	2,85	26,13	9,81
Total	104,05	10,16	60,82	52,12
Percentage of various nutrients out of the total annual requirement:				
Tree crop, %	78,8	71,9	57,0	81,2
Ground vegetation and shrubs, %	21,2	28,1	43,0	18,8
Nutrient consumption per unit of dry matter produced (kg/1 000 kg):				
Tree crop	9,34	0,83	3,95	4,82
Ground vegetation and shrubs	14,32	1,85	16,97	6,37
Nutrient consumption per unit of stem volume increment (kg/m³ stemwood o.b.):				
Tree crop	13,44	1,20	5,69	6,94

The ground vegetation was clearly a more important consumer of nutrients than producer of biomass since the proportion of nitrogen and calcium bound in biomass production was about 20 per cent and in some cases the amount of potassium was even 40 per cent. In addition to the vitality of the ground vegetation, the species composition also affects nutrient consumption. An abundance of herbs and grasses indicates high calcium consumption, which becomes clearly evident when the nutrient consumption is expressed per unit dry matter produced. There was only a very slight difference between the calcium requirements of the tree crop and the ground vegetation. However, the ground vegetation took up about four times as much potassium per unit of dry matter as the tree crop. The annual nutrient requirement of the tree crop can be expressed per cubic meter of over bark stem volume increment. The development stage of the tree crop now has a great effect on the results. The annual nutrient balance of the tree crop, based on the data for the production and removal of biomass, is as follows:

	N	P	K	Ca
Taken up from the soil by trees, kg/ha	109,6	10,9	47,8	77,1
Retained by tree crop, kg/ha	82,0	7,3	34,7	42,3
Returned in litter, kg/ha	27,6	3,6	13,1	34,8

The amounts of nutrients taken up by the tree crop are underestimated, since the amounts leached from the foliage by the rain water are not included. According to Sokolov (1972) in a 40-years old birch stand the rain leached from the foliage 2,0 kg/ha nitrogen, 0,6 kg/ha potassium, and 2,4 kg/ha calcium during one vegetation season. However, the water-soluble inorganic ions leached from the crown are immediately available for reuse by the plants. Thus, as regards the amount of nutrients in the rain water, the nutrient cycle can be very rapid and in that sense does not cause any errors in the estimation of the annual nutrient balance.

The nutrient balance presented above shows that 25 per cent of the nitrogen, 33 per cent of the phosphorus, 27 per cent of the potassium, and 45 per cent of the calcium taken up annually by the tree crop is returned to the ground in the litter fall. The internal nutrient cycle of the tree and the leaching of nutrients from the litter by the rain water affect this result.

Examination of the annual nutrient balance of the stand can be expanded, using the data from Table 10, to cover the whole of the vegetation (Table 16). Interest is

Table 16. The annual nutrient balance of tha stand (kg/ha/yr.).

Component of balance	N	P	K	Ca
Bound into biomass at the beginning of measurement period	244,4	31,5	145,2	226,6
Bound to the annual total production	105,1	10,3	61,1	52,5
Removal in litter	49,8	5,9	37,9	42,3
Bound to the annual net production	55,3	4,4	23,2	10,2
Bound into biomass at the end of measurement period	302,7	35,9	168,5	236,8

concentrated especially on the amount of nutrients bound in annual net production of biomass and on the amount of nutrients available to the plants in the soil (Table 11). It is obvious, on the basis of this comparison, that a deficiency of nitrogen and phosphorus restrict the production of vegetation more than that of potassium, but the rate of replacement of the nutrients is unknown.

52. Discussion

Primary production of biomass, as also the consumption of nutrients, is distributed in a stand between the tree crop and the ground vegetation within limits determined by the density of the tree crop. In birch stands the prevailing ecological conditions favour the development of the ground vegetation into a strong competition factor. Although the proportion of ground vegetation production out of the total annual production of the stand was only 15 per cent, the nutrient amounts bound by the ground vegetation varied between 20—40 per cent of the total annual nutrient consumption of the stand vegetation, the actual proportion varying from one nutrient to another. Special anttention has been paid to the high potassium requirement of the grass and herb vegetation when determining the interaction between the trees and the ground vegetation (Y a k u s h e v 1968).

The fact that birch, as regards its nutrient requirements, is a demanding species becomes clearly evident when the amount of nutrients required by birch and Scots pine to produce a set amount of dry matter, are compared. The tree stands used for this comparison are of the same age class and the results have been obtained by the same method.

	N	P	K	Ca	
Nutrient requirements of birch according to the present study	9,3	0,8	4,0	4,8	kg/1 000 kg biomass produced
Nutrient requirements of Scots pine (M ä l k ö n e n 1974)	4,4	0,5	2,4	1,8	»

It is evident that birch has required about twice the amount of nitrogen and over one and a half times the amount of phosphorus and potassium required by Scots pine to produce the same amount of dry matter. The birch crop has bound 2,7 times as much calcium as Scots pine has. However, the amount of nutrients bound in the biomass does no exactly correspond to the actual nutrient requirements of the tree crop since, for instance, more calcium is inevitably accumulated in the biomass of the trees than is needed, whenever it is available (I n g e s t a d 1973). It is evident from the results that the relationship between the amount of nitrogen and biomass production is the strongest. The nitrogen requirement of birch is very high, almost at the same

level as crop plants (cf. E h w a l d 1957). On the other hand, when the N/P and N/K ratios are compared, it appears that relatively more phosphorus and potassium is bound in the annual biomass production of Scots pine than of birch.

V i r o (1974) has come to the conclusion on the basis of fertilization experiments, that besides nitrogen, the application of potassium is more important for birch than that of phosphorus. This conclusion is further supported by the evidence that strong competition by the ground vegetation for nutrients, especially for nitrogen and potassium, restricts the growth of the tree crop. In addition, birch utilises nutrients less efficiently than e.g. Scots pine, which has a more efficient internal nutrient cycle than birch.

As a result of the relatively high nutrient content of the litter crop of birch and the large proportion of annual grasses and herbs in the ground vegetation, the nutrient cycle in birch stands is much faster than in coniferous stands. On the other hand, the satisfying of the large annual nutrient requirements of vigorously growing pure birch stands is possible only on fertile sites (cf. R a u l o 1977), where litter decomposition and nutrient mobilisation is fast. In mixed stands birch is probably suitable on moderately fertile sites where competition by less demanding tree species and ground vegetation is not so strong.

6. SUMMARY

The distribution of the dry matter of the vegetation, its annual biomass production and nutrient cycle in a 40-year old stand of hairy (84 per cent) and warty birch growing on an *Oxalis-Myrtillus* site has been studied. The amount of dry matter in the tree crop was determined by means of the regression estimate method which was based on the strong correlation between the volume index (log d^2h) of the stem and the dry weight of different compartments of the sample trees.

The total biomass of the birch stand was 116 670 kg/ha and its annual production 10 320 kg/ha. The dry matter of the ground vegetation, which was determined by weighing the vegetation from 20 sample squares, represented only 2,3 per cent of the biomass of the stand. However, its proportion out of the total annual production of the stand was about 15 per cent. The leaf crop of birch was equivalent to one third of the annual biomass production of the tree crop, and was slightly greater than the annual production of stemwood. The annual litter crop was equivalent to four per cent of the biomass of the stand.

The biological nutrient cycle in the stand was determined from the amounts of nutrients (N, P, K, and Ca) taken up annually from the soil by the vegetation, bound by the vegetation, and returned to the ground in the litter fall. When the nutrient requirements of birch were compared with those of Scots pine, it was seen that birch required approximately twice the amount of nutrients to produce one unit of dry matter. The grass and herb vegetation typical of birch stands took up very much nitrogen and potassium. Of the total amount of nutrients bound annually by the vegetation in the experimental stand, 20—40 per cent was bound in the ground vegetation.

Especially in pure birch stands, which require rather fertile sites, strong competition by the ground vegetation for nutrients may restrict tree growth. It is thus apparent that in such cases only a small growth increase will be obtained when fertilization is carried out.

REFERENCES

CAJANDER, A. K. 1949. Forest types and their significance. Acta For. Fenn. 56 (5): 1—71.

EHWALD, E. 1957. Über den Nährstoffkreislauf des Waldes. Deutsche Akad. Landwirtschaftswissenschaften Berlin, Sitz.ber. 6 (1): 1—56.

FINNEY, D. J. 1941. On the distribution of a variate whose logarithm is normally distributed. J. Roy. Stat. Soc. B7: 155—161.

HAAPALA, K. 1972. Sadeveden laatu Suomessa vuonna 1971. Summary: The quality of rainwater in Finland according to observations made during 1971. National Board of Waters. Report 26: 1—49.

HAKKILA, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Seloste: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (5): 1—98

HYTTEBORN, H. 1975. Deciduous woodland at Andersby, Eastern Sweden. Above-ground tree and shrub production. Acta Phytogeogr. Suecica 61: 1—96.

ILVESSALO, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta For. Fenn. 15 (4): 1—94.

INGESTAD, T. 1973. Mineral nutrient requirements of *Vaccinium vitis-idea* and *V. myrtillus*. Physiol. Plant. 29 (2): 239—246.

JOKELA, E. & YLÄNEN, J. 1956. Koivikoiden lehtisadon määrästä. Summary: Amount of foliage in birch stands. Metsätal. Aikakausl. 73 (4): 131—132.

KÄRKKÄINEN, M. 1976a. Kokopuuhakkeen tiheyden mittaaminen. Summary: Measurement of basic density of total tree chips. Silva Fenn. 10 (3): 198—211.

—»— 1976b. Puun ja kuoren tiheys ja kosteus sekä kuoren osuus koivun, kuusen ja männyn oksissa. Summary: Density and moisture content of wood and bark, and bark percentage in the branches of birch, Norway spruce and Scots pine. Silva Fenn. 10 (3): 212—236.

KELLOMÄKI, S. & HARI, P. 1977. Rate of photosynthesis of some forest mosses as a function of temperature and light intensity and effect of water content of moss cushion on photosynthetic rate. Seloste: Eräiden metsäsammallajien fotosynteesinopeus lämpötilan ja valon funktiona sekä kasvuston kosteuden vaikutus fotosynteesinopeuteen. Silva Fenn. 11 (4): 288—295.

KELTIKANGAS, M. & SEPPÄLÄ, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikon kasvatus taloudellisena vaihtoehtona. Summary: The economics of growing birch stands on drained peatlands. Silva Fenn. 11 (1): 49—68.

KNUDSEN, F. & MAURITZ-HANSSON, H. 1939. Om produktionen av lövförna och dennas sammansättning i ett mellansvenskt björkbestånd. Sveriges SkogsvFörb. Tidskr. 37: 339—347.

KOIVISTO, P. 1959. Kasvu- ja tuotostaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Commun. Inst. For. Fenn. 51 (8): 1—49.

LÄHDE, E. 1966. Kokeita selluloosan hajaantumisnopeudesta erilaisissa metsiköissä. Summary: Experiments on the decomposition rate of cellulose in different stands. Silva Fenn. 119 (1): 1—12.

LAITAKARI, E. 1935. Koivun juuristo. Summary: The root system of birch (*Betula verrucosa* and *odorata*). Acta For. Fenn. 41 (2): 1—168.

MÄLKÖNEN, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Seloste: Vuotuinen primärituotos ja ravinteiden kiertokulku männikössä. Commun. Inst. For. Fenn. 84 (5): 1—87.

MIKOLA, P. 1954. Kokeellisia tutkimuksia metsäkarikkeiden hajaantumisnopeudesta. Summary: Experiments on the rate of decomposition of forest litter. Commun. Inst. For. Fenn. 43 (1): 1—50.

—»— 1965. Koivun vaikutus metsämaan biologisiin ominaisuuksiin. Selostus tutkimuksesta 1962—65. 17 p. Dep. of Silviculture, Univ. of Helsinki. Mimeographed.

NÖMMIK, H. 1968. Skogens kväveförsörjning och möjligheterna att påverka den. K. Skogs- o. LandbrAkad. Tidskr. 107 (1—2): 43—60.

—»— 1976. Predicting the nitrogen-supplying power of acid forest soils from data on the release of CO_2 and NH_3 on partial oxidation. Commun. Soil Sci and Plant Analysis 7 (6): 569—584.

OVINGTON, J. & MADGWICK, H. 1959. The growth and composition of natural stands of birch. 1. Dry-matter production. Plant & Soil 10 (3): 271—283.

PERSSON, H. 1975. Deciduous woodland at Andersby, Eastern Sweden. Field-layer and below-ground production. Acta Phytogeogr. Suecica 62: 1—71.

RAULO, J. 1977. Studies on growth of trees in *Betula* plantations and progeny tests in Finland. Dep. of Botany, Univ. of Turku.

RICHARDS, F. J. 1969. The quantitative analysis of growth. Plant Physiol. 5A: 3—76.

ROMELL, L-G. 1939. Den nordiska blåbärsgranskogens produktion av ris, mossa och förna. Summary: Litter production and annual growth of blueberry bushes and mosses in northern spruce woods. Svensk Bot. Tidskr. 33 (4): 366—382.

SARAMÄKI, J. 1976. Hieskoivun kasvatuskelposuudesta Pohjanmaalla. Summary: On the profitability of growing white birch. Metsä ja Puu, 93 (4): 9—11.

SARVAS, R. 1949. Puumaiset koivulajimme. Metsätal. Aikakausl. 66 (1): 9—13.

—»— 1956. Puulajit. Metsäkäsikirja 1: 454—474. Kustannus Oy Kivi. Helsinki.

—»— 1972. Investigations on the annual cycle of development of forest trees. Active period. Seloste: Tutkimuksia metsäpuiden kehityksen vuotuisesta sykluksesta. Aktiivi periodi. Commun. Inst. For. Fenn. 76 (3): 1—110.

SIRÉN, G. 1955. The development of spurce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Seloste: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta For. Fenn. 62 (4): 1—408.

SOKOLOV, A. 1972. Khimicheskii sostav atmosfernykh osadkov proshedshikh skvoz polog yelovogo i berezovogo drevostoev. Summary: Chemical composition of rainfall passed through the birch and spruce canopies. Lesovedenie 3: 103—106.

SRIVASTAVA, L. M. 1964. Anatomy, chemistry, and physiology of bark. Intern. Rev. For. Res. 1: 203—277.

TAMM, C. O. 1951. Seasonal variation in composition of birch leaves. Physiol. Plant. 4: 461—469.

—»— & HOLMEN, H. 1967. Some remarks on soil organic matter turn-over in Swedish podzol profiles. Medd. Norske Skogsforsøksv. 85: 69—88.

TAMMINEN, Z. 1970. Funtighet, volymvikt mm. hos ved och bark. III Björk. Moisture content, density and other properties of wood and bark. III Birch. Rapp. Instn. Virkeslära Skogskögsk. 63: 1—33.

URVAS, L. & ERVIÖ, R. 1974. Metsätyypin määräytyminen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Summary: Influence of soil type and the chemical properties of soil on the determining of the forest type. J. Scient Agr. Soc. Finland. 46: 307—319.

VIRO, P. J. 1953. Loss of nutrients and the natural nutrient balance of the soil in Finland. Seloste: Ravinteiden huuhtoutuminen ja maan luontainen ravinnetase Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 42 (1): 1—50.

—»— 1955. Investigations on forest litter. Seloste: Metsäkariketutkimuksia. Commun. Inst. For. Fenn. 45 (6): 1—65.

—»— 1969. Prescribed burning in forestry. Commun. Inst. For. Fenn. 67 (7): 1—49.

—»— 1974. Fertilization of birch. Seloste: Koivun lannoitus. Commun. Inst. For. Fenn. 81 (4): 1—38.

WHITTAKER, R. H. 1965. Branch dimensions and estimation of branch production. Ecology 46 (3): 365—370.

YAKUSHEV, Ya. 1968. Rost i vzaimodeistvie kornevykh sistem dreveshykh i travyanistykh rastenii. Ekologo-fiziologicheskie osobennosti vzaimootnoshenii rastenii v rastitelnykh soobshchestvakh. p 91—123. Izd. Nauka i tekhnika. Minsk.

SELOSTE

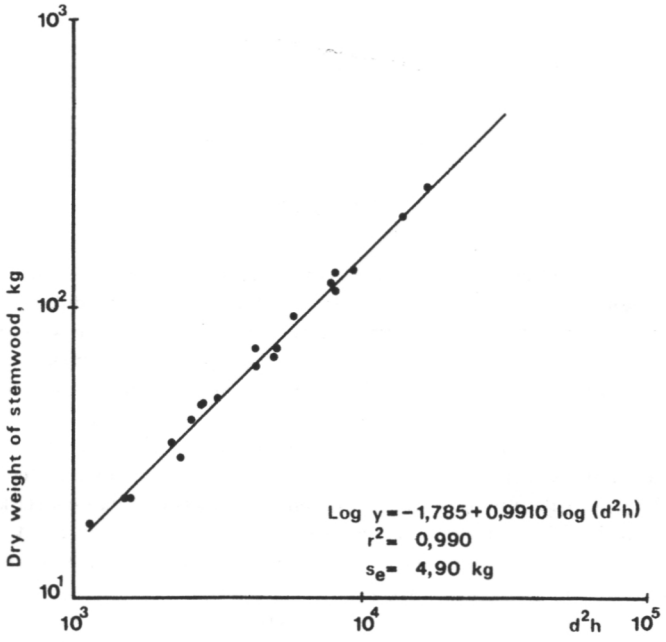
Tutkimuksessa tarkastellaan puuston ja aluskasvillisuuden kuiva-aineen jakautumista, sen vuotuista biomassan tuotosta ja ravinteiden kiertokulkua hieksen (84 %) ja rauduksen (16 %) muodostamassa 40-vuotiaassa käenkaali-mustikkatyypin metsikössä. Tutkimusmetsikkö sijaitsi Oriveden Siitamassa. Puuston kuiva-aineen määrä arvioitiin 20 koepuun perusteella käyttäen regressioarviointimenetelmää, joka perustui koepuiden eri osien kuivapainon ja rungon tilavuusindeksin väliseen kiinteään riippuvuuteen.

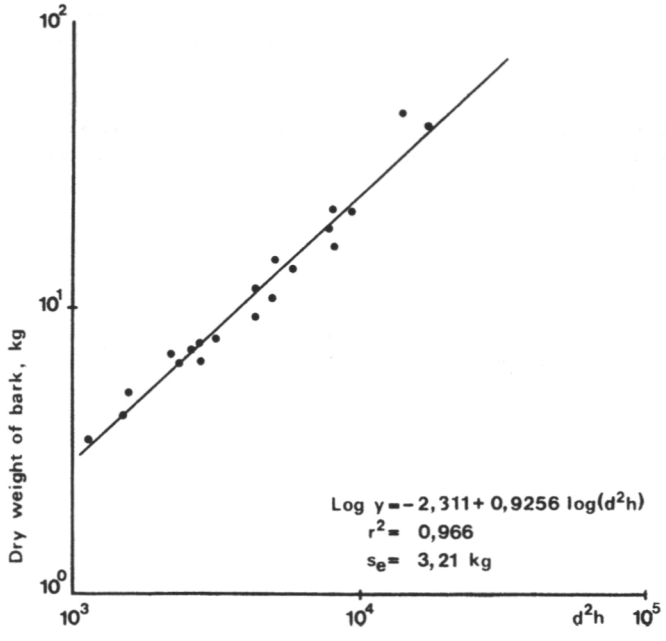
Koivikon biomassan kokonaismäärä oli 116 670 kg/ha ja sen vuotuinen tuotos 10 320 kg/ha. Aluskasvillisuuden kuiva-aine, joka määritettiin punnitsemalla 20 näyteruudulta kerätty kasvillisuus, muodosti vain 2,3 % metsikön biomassasta, mutta sen osuus metsikön vuotuisesta kokonaistuotoksesta oli n. 15 %. Koivun lehtisato muodosti kolmanneksen puuston vuotuisesta kuiva-ainetuotoksesta ja oli hiukan suurempi kuin rungon puuaineen vuotuinen tuotos. Vuotuisen karikesadon osuudeksi saatiin n. 4 % metsikön biomassasta.

Ravinteiden biologista kiertokulkua metsikössä tarkasteltiin kasvillisuuden vuosittain maasta ottamien (N, P, K ja Ca), kasvillisuuteen sitoutuvien ja maahan palautuvien ravinnemäärien avulla. Vertailtaessa koivun ja männyn ravinnetarvetta, havaittiin koivun tarvitsevan noin 2-kertaisen määrän ravinteita tuotettua kuiva-aineyksikköä kohti. Koivikoille tyypillinen heinä ja ruohokasvillisuus käyttää tunnetusti erittäin runsaasti typpeä ja kaliumia. Aluskasvillisuuden osuus koemetsikössä kasvillisuuteen vuosittain sitoutuneista ravinnemääristä olikin 20—40 % tarkasteltavasta ravinteesta riippuen.

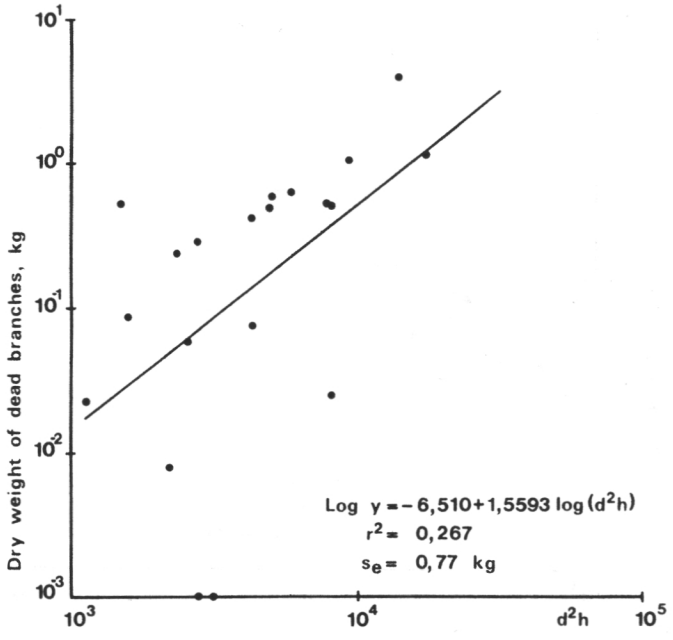
Erityisesti puhtaissa koivikoissa, joiden kasvattaminen vaatii ravinnerikkaan kasvupaikan, aluskasvillisuuden taholta tuleva voimakas kilpailu ravinteista rajoittaa puiden kasvua. On myös pääteltävissä, että lannoitteina annetuilla ravinteilla saadaan tällaisissa tapauksissa vain vähäinen kasvunlisäys.

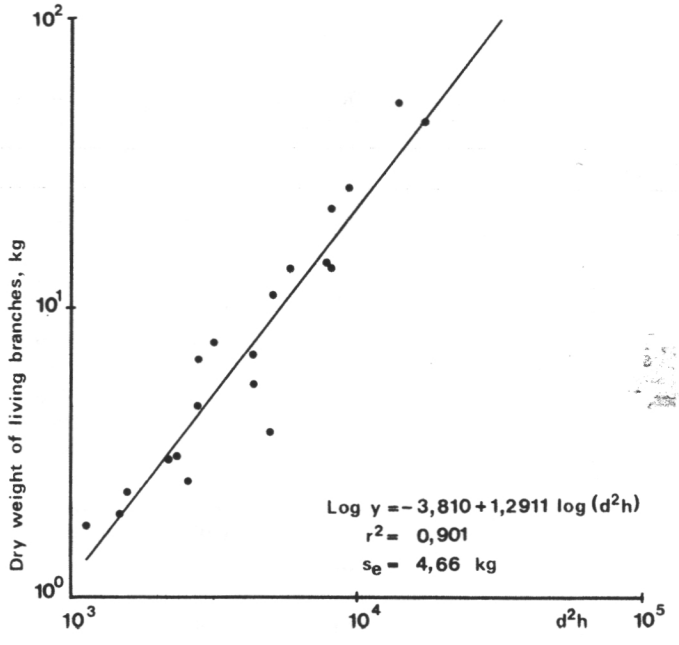
Appendix 1. The relationship between the dry weight of different tree compartments and certain tree characteristics.



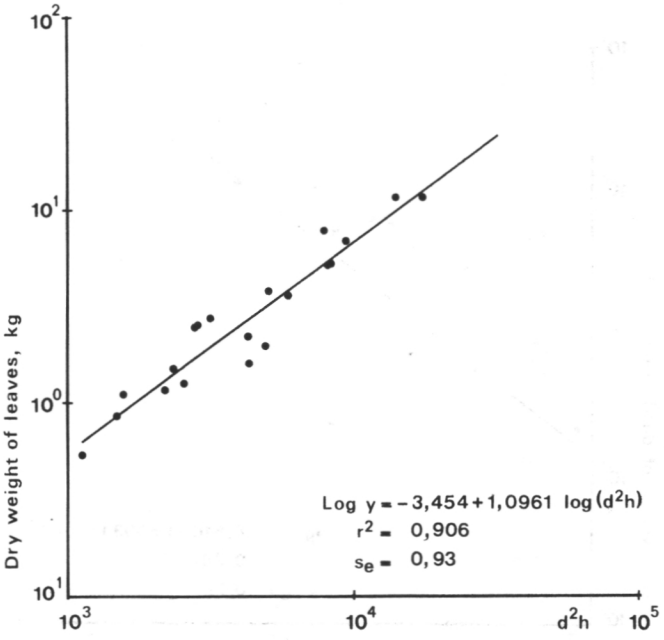


Appendix 1.


Dry weight of dead branches, kg
10^1
10^0
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^3
10^4
d^2h
10^5
Log y = – 6,510 + 1,5593 log (d^2h)
r^2 = 0,267
s_e = 0,77 kg


Dry weight of living branches, kg
10^2
10^1
10^0
10^3
10^4
d^2h
10^5
Log y = – 3,810 + 1,2911 log (d^2h)
r^2 = 0,901
s_e = 4,66 kg

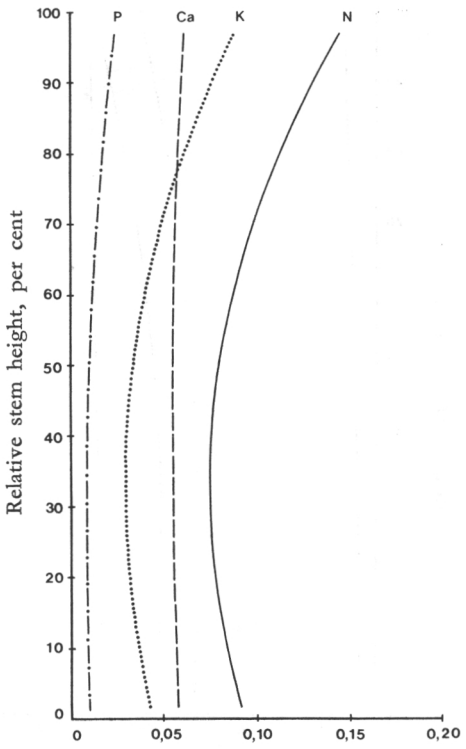
Appendix 1.



Appendix 2. Average nutrient content of different compartments of the sample trees expressed as a percentage of the dry weight.

Compartmet	N	P	K	Ca
Stemwood, $\bar{x}$	0,083	0,010	0,036	0,057
s	0,010	0,001	0,003	0,007
Bark, $\bar{x}$	0,474	0,041	0,393	0,611
s	0,032	0,006	0,026	0,219
Dead branches, $\bar{x}$	0,267	0,017	0,036	0,292
s	0,058	0,006	0,017	0,142
Living branches, $\bar{x}$	0,393	0,051	0,160	0,426
s	0,045	0,007	0,025	0,120
Leaves, $\bar{x}$	2,420	0,194	1,000	1,074
s	0,285	0,035	0,135	0,190
Stumps, $\bar{x}$	0,106	0,012	0,052	0,055
s	0,015	0,003	0,039	0,013
Roots, ⌀ > 1 cm $\bar{x}$	0,099	0,033	0,083	0,110
s	0,016	0,015	0,022	0,037
Roots, ⌀ < 1 cm $\bar{x}$	0,616	0,089	0,194	0,485
s	0,170	0,011	0,029	0,106

Appendix 3. The variation of nutrient content in the longitudinal direction of the stem.



Stemwood: $N = 0{,}0932 - 0{,}0011y + 0{,}000017y^2$ $r^2 = 0{,}395$

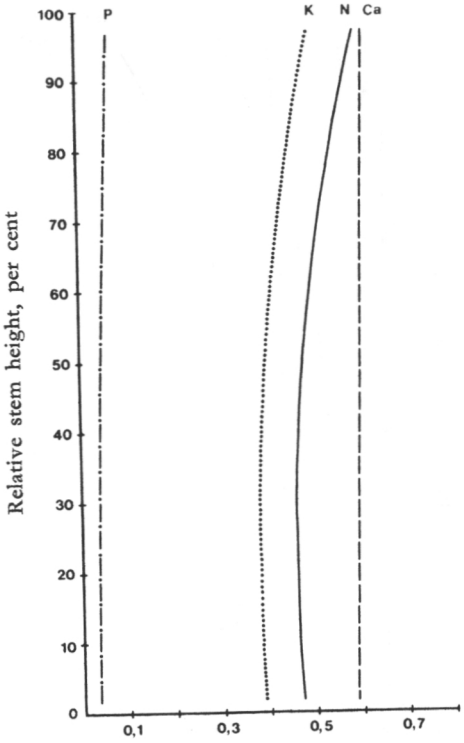
$P = 0{,}1008 - 0{,}00015y + 0{,}000003y^2$ $r^2 = 0{,}498$

$K = 0{,}0440 - 0{,}0009y + 0{,}000014y^2$ $r^2 = 0{,}254$

$Ca = 0{,}0583 - 0{,}00015y + 0{,}000002y^2$ $r^2 = 0{,}010$

$n = 67$

Appendix 3.



Stem bark: $N = 0{,}4713 - 0{,}00112y + 0{,}000025y^2$ $r^2 = 0{,}383$

$P = 0{,}03380 + 0{,}000079y + 0{,}000003y^2$ $r^2 = 0{,}545$

$K = 0{,}3904 - 0{,}00092y + 0{,}000021y^2$ $r^2 = 0{,}389$

$Ca = 0{,}5898 + 0{,}00028y + 0{,}0000003y^2$ $r^2 = 0{,}002$

$n = 180$

Appendix 4. Average nutrient content of the ground vegetation and shrubs expressed as a percentage of the dry weight.

Plant group	N	P	K	Ca
Mosses, $\bar{x}$	1,668	0,160	0,852	0,280
s	0,060	0,001	0,010	0,010
Grasses, $\bar{x}$	1,413	0,160	2,280	0,250
s	0,107	0,019	0,185	0,018
Herbs, $\bar{x}$	1,963	0,294	2,947	1,374
s	0,074	0,035	0,233	0,256
Dwarf shrubs, $\bar{x}$	1,190	0,125	0,665	0,600
s	0,009	0,014	0,018	0,069
Shrubs, $\bar{x}$	1,099	0,123	0,689	0,936
s	0,416	0,028	0,327	0,472
Roots, $\bar{x}$	1,260	0,132	0,476	0,402
s	0,061	0,042	0,185	0,099

ERI KEHITYSVAIHEESSA ISTUTETTUJEN RAUDUSKOIVUN TAIMIEN VILJELYN ONNISTUMINEN AURATUILLA UUDISTUSALOILLA POHJOIS-SUOMESSA

ERKKI LÄHDE JA JYRKI RAULO

Summary

DEVELOPMENT OF SILVER BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH) SEEDLINGS OUTPLANTED AT DIFFERENT DEVELOPMENTAL STAGES ON PLOWED REFORESTATION AREAS IN NORTH FINLAND

HELSINKI 1977

ODC 232.216
ISBN 951-40-0286-5
ISSN 0026-1610

LÄHDE, E. & RAULO, J. 1977. Eri kehitysvaiheessa istutettujen rauduskoivun taimien viljelyn onnistuminen auratuilla uudistusaloilla Pohjois-Suomessa. Summary: Development of Silver birch (*Betula pendula* Roth) seedlings outplanted at different developmental stages on plowed reforestation areas in North Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (6) 1—30.

Tutkimuksessa selvitettiin eri ajankohtina istutettujen rauduskoivun taimien kehitystä Pohjois-Suomessa. Yksi perustetuista koealueista aidattiin porojen ja jänisten koivun taimille usein aiheuttamien tuhojen estämiseksi. Näin menetellen voitiin seurata rauduskoivun taimien potentiaalista kehitystä. Tutkittavana oli kaksi taimilajia ja viljelykohtana oli piennarauralla käsitellyn uudistusalan piennar ja palle. Tuloksia verrattiin kahden aitaamattomalle alueelle perustetun kokeen tuloksiin.

Aitaamattomilla alueilla nousivat lähinnä porojen aiheuttamat tuhot jo vuoden kuluttua viljelystä niin suuriksi, että istutukset oli katsottava epäonnistuneiksi. Aidatun alueen tulokset osoittivat, että jos porojen ja jänisten koivun taimille aiheuttamat tuhot voitaisiin eliminoida, onnistuisi rauduskoivun istutus auratulla alueella Pohjois-Suomessa hyvin. Parhaiten viljely onnistui silloin, kun lehdet syksyllä olivat jo kellastuneet tai keväällä ennen lehtisilmujen puhkeamista. Pientareessa päästiin tällöin noin 90 %:n onnistumistulokseen. Suotuisan säätilan vallitessa palteeseen istutetut taimet menestyivät tällöin myös hyvin.

Viljely onnistui jokseenkin heikosti taimien lehtien puhjettua keväällä ja niiden ollessa syksyllä vielä vihreitä. Taimien kehitys palteessa oli 2—3 vuoden kuluttua istutuksesta huomattavasti nopeampaa kuin pientareessa taimilajista ja viljelyajankohdasta riippumatta. Viiden kasvukauden jälkeen olivat pisimmät taimet palteissa saavuttaneet noin 120 cm:n pituuden. Tällöin oli eri ajankohtina viljeltyjen taimien suurin ero keskipituuksissa noin 60 cm.

The development of silver birch (*Betula pendula* Roth) seedlings outplanted at different developmental stages in North Finland was studied. Browsing damage by reindeer and hares was eliminated by fencing one of the experimental areas. Thus it was possible to study the potential development of silver birch. Two types of nursery stock were compared on the shoulder and tilt made by shoulder plough on a reforestation area. The results were compared to those of two experiments established on unprotected areas.

On the unprotected areas the damage was already so great after one year that the reforestation had to be regarded as a failure. The results on the fenced area showed that if damage by reindeer and hares could be eliminated, planting of silver birch on ploughed areas in North Finland may be successful. Reforestation is most successful when the leaves have turned yellow in the fall or in the spring before bud break. Survival on the shoulder then may be approximately 90 %. On the tilt the results also may be good if planting is done during favourable weather. Reforestation is most unsuccessful after the buds have opened and when the leaves are still green. On the tilt 2—3 years after planting seedling development is already clearly more rapid compared to seedlings on the shoulder regardless of the type of nursery stock and its developmental stage. After five growing seasons the tallest seedlings on the tilt were about 120 cm. At that time the largest mean height difference between seedlings planted at different stages was up to 60 cm.

ISBN 951-40-0286-5
ISSN 0026-1610

Helsinki 1977. Valtion painatuskeskus

ALKUSANAT

Tämä tutkimus on osa laajemmasta rauduskoivun viljelyä Pohjois-Suomessa käsittelevästä sarjasta, jota on toteutettu metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosastossa allekirjoittaneiden toimesta. Tuloksia on tosin julkaistu myös eräiden osaston muiden tutkijoiden nimissä ns. runkotutkimuksen osalta. Tutkimuslaitoksen ohella on rahoituksesta osittain vastannut Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto. Useat metsähallinnon pohjoisten hoitoalueiden ammattimiehistä ovat myös avustaneet eri tavoin kokeiden perustamisessa.

Metsäteknikot Tapani V a r t i a i n e n ja Leo T e r v o sekä työnjohtaja Leo P e k k a l a työryhmineen ovat vastanneet kokeiden perustamisesta ja mittauksista. Fil.maist. Ahti N i i n i m a a on antanut asiantuntija-apua aineiston tilastomatemaattisessa käsittelyssä ja Ph.D. Kim von W e i s s e n b e r g on kääntänyt tutkimuksen englanninkielisen osan. Professorit Gustaf S i r é n ja Paavo J u u t i n e n ovat tarkastaneet käsikirjoituksen.

Tekijät ovat yhteisvoimin suunnitelleet tutkimuksen ja viimeistelleet käsikirjoituksen, jonka Erkki L ä h d e on ensin laatinut. Lähde on myös pääasiallisesti vastannut kokeiden toteuttamisesta ja hoidosta sekä aineiston käsittelystä.

Haluamme tässä yhteydessä lausua parhaat kiitoksemme tutkimuksemme tukijoille, avustajille ja käsikirjoituksen tarkastajille.

Rovaniemellä ja Helsingissä helmikuussa 1977

Erkki Lähde *Jyrki Raulo*

SISÄLLYS

1. JOHDANTO 5
2. KOEALUEET JA KOEJÄRJESTELYT 5
3. TUTKIMUSKAUDEN SÄÄOLOT 7
4. TUTKIMUKSEN TULOKSET 11
   41. Taimien elossaolo 11
   42. Taimien pituuskasvu 14
   43. Taimien pituus 15
   44. Sään vaikutus viljelytulokseen 18
   45. Taimien käsittely ja esiintyneet tuhot 21
5. TULOSTEN TARKASTELU 24
6. YHDISTELMÄ 26
7. KIRJALLISUUS 28
8. SUMMARY 29

1. JOHDANTO

Kiinnostus rauduskoivun viljelyyn Pohjois-Suomessa on ollut vähäistä. Tämä on johtunut lähinnä koivun epäedullisista hintasuhteista havupuihin verrattuna. Mielenkiinto koivua kohtaan voimistui kuitenkin 1970-luvun alkupuolella, jolloin koivupuusta metsänomistajille maksettava hinta kohosi vuosina 1973—1974 lähes havupuista maksetun hinnan tasolle laskien kuitenkin uudelleen jonkin verran vuosina 1975—1976. Tähänastiset tutkimustulokset osoittavat, että porot ja jänikset aiheuttavat usein suurta tuhoa rauduskoivuviljelyksillä Pohjois-Suomessa (R a u l o ja L ä h d e 1977, P o h t i l a 1977). Koivun luontainen uudistaminen ja kylvö saattavat kuitenkin tarjota paremman vaihtoehdon istutukseen verrattuna (R a u l o ja M ä l k ö n e n 1976, R a u l o ja L ä h d e 1976).

Jatkona kirjoittajien aiemmille Pohjois-Suomea koskeville koivututkimuksille on tässä työssä selvitetty, miten istutetut rauduskoivun taimet kehittyvät, kun porojen ja jänisten aiheuttamat tuhot estetään aitaamalla viljelyalue. Samanaikaisesti selvitetään aidatulla ja auratulla alueella viljelyajankohdan, viljelykohdan sekä taimilajin vaikutusta viljelyn onnistumiseen. Tämän lisäksi on tutkittu, voidaanko hirvensarviöljyä käyttää karkotusaineena poroja vastaan ja mitä urealannoitus vaikuttaa eläinten aiheuttamien syömätuhojen määrään.

2. KOEALUEET JA KOEJÄRJESTELYT

Porojen ja jänisten aiheuttamien tuhojen eliminoimiseksi ja taimien potentiaalisen kehityksen selvittämiseksi perustettiin Kuusijoelle Rovaniemen kuntaan (66°23′ P; 25°01′ I; 105 m mpy) koekenttä, joka aidattiin keväällä 1971. Alue oli avohakattu talvella 1969—1970 ja käsitelty seuraavana keväänä piennarauralla. Alkuperäinen metsä oli kuusi-haapa-hieskoivusekametsä, jossa kuusen osuus oli n. 80 %. Maalaji, jonka lajitekoostumus esitetään taulukossa 1, oli koealueella hietamoreenia.

Taulukko 1. Maan lajitekoostumus ($\bar{x}\pm s$, %) aidatun alueen koekentällä.
Table 1. Particle size distribution ($\bar{x}\pm s$, %) in the soil of the fenced area.

Vuosilohko *Annual block*	Raekokoraja, mm — *Particle-size limits, mm*					
	> 2,0	2,0—0,6	0,6—0,2	0,2—0,06	0,06—0,02	< 0,02
1971—72	15,8±5,8	8,5±4,0	11,9±2,5	35,0± 6,8	17,7±2,5	11,2±2,6
1972—73	12,7±4,2	8,8±4,9	13,4±3,9	32,8± 9,1	20,8±4,6	11,5±4,1
1973—74	14,8±9,0	5,5±3,7	11,1±2,7	34,3±17,9	20,9±1,0	13,4±4,0
$\bar{x}$	14,4±1,6	7,6±1,8	12,1±1,2	34,0± 1,1	19,8±1,8	12,0±1,2

Koealueen maa oli varsin homogeenista, sillä koelohkojen välillä ei ollut olennaisia eroja lajitekoostumuksessa. Hienon hiedan ja sitä hienompien lajitteiden (< 0,06 mm) osuus koko lajitekoostumuksesta oli korkea, keskimäärin yli 30 %, mikä on ominaista tyypillisille kuusimaille Pohjois-Suomessa (Sirén 1955, Lähde 1974 a, Lähde ja Mutka 1974).

Koejäseniksi otettiin istutus pientareeseen ja palteeseen sekä kaksi rauduskoivun taimilajia, joista toinen oli metsähallinnon Pakatin taimitarhalla (67°40′ P; 24°55′ I; 185 m mpy) kasvatettu 1(Mk+A)[1] ja toinen Imarin taimitarhalla (66°30′ P; 25°35′ I; 100 m mpy) kasvatettu 1(Mr—A)[1]. Koetaimien kasvatuksessa käytetty siemen oli kerätty Kittilän kunnassa kasvavasta ns. Sätkenävaaran rauduskoivikosta (67°42′ P; 24°50′ I; 240 m mpy).

Koulitut, taimilajia 1(Mk+A) edustaneet taimet olivat yleensä hyväkuntoisia. Sitävastoin koulimattomat, taimilajia 1(Mr—A) edustaneet taimet olivat kunnoltaan vain keskinkertaisia ja joinakin istutuskertoina jopa heikkokuntoisia. Eri taimien koossa oli huomattava ero, vaikka ne olivat samanikäisiä. Koulitut 1(Mk+A) taimet olivat selvästi kookkaampia kuin koulimattomat 1(Mr—A) taimet.

Kokeessa selvitettiin myös kasvukauden eri ajankohtina istutettujen ja siten istutushetkellä eri kehitysvaiheessa olleiden taimien menestymistä. Taimien kehitysvaihe eri istutusajankohtina oli seuraava:

1 = lehdet vihreät
2 = lehdet kellastuneet
3 = lehdet varisseet
ja seuraavana keväänä
4 = lehtisilmut lepotilassa
5 = lehtisilmut turvonneet
6 = lehtisilmut avautuneet (lehdet hiirenkorvalla)

Istutuskokeet toistettiin vuosijaksoina 1971—72, 1972—73 ja 1973—74.

Koeruutuna oli 15 metrin pituinen piennarauran jälki. Tähän istutettiin kourukuokalla 15 tainta pientareisiin ja 15 tainta palteisiin. Toistoja kokeessa oli seitsemän kappaletta. Piennarauraukseen vuoksi palle oli usein heikosti muodostunut. Niinpä joissakin tapauksissa palteeseen istutettaviksi tarkoitetut taimet jouduttiin istuttamaan käsittelemättömään maahan noin metrin etäisyydelle vaosta tai palteeseen, jossa oli kovin niukasti kivennäismaata. Koejärjestelyn heikkoutena oli se, että samaa aurausjälkeä käytettiin sekä piennar- että palleruutuna. Näin meneteltiin kustannussyistä. Muussa tapauksessa olisi jouduttu aitaamaan kaksi kertaa suurempi alue kuin nyt käytettyä koejärjestystä käytettäessä. Runsaasta toistomäärästä johtuen menettelyllä ei ole vaikutusta tulosten luotettavuuteen. Vastaavaa menettelyä on käytetty useissa tutkimuksissa (vrt. Lähde 1974 b, Pohtila 1977). Taimet inventoitiin syksyisin ensimmäisestä viljelykesästä lähtien. Inventoinnissa laskettiin taimien elossaolosadannes sekä mitattiin niiden mittausvuoden pituuskasvu ja kokonaispituus.

Aidatun alueen viljelykokeen lisäksi perustettiin 18—20. 6. 1973 kaksi muuta koetta avohakatuille aitaamattomille alueille Sallan ja Sodankylän kuntiin. On arveltu, että typellä voimakkaasti lannoitetut taimet ovat porojen ja jänisten erityisesti haluamaa ravintoa. Tämän sekä sen seikan selvittämiseksi, voidaanko hirvensarviöljyllä taimia käsitellen suojella niitä syömätuhoilta, otettiin koejäseniksi seuraavat käsittelyt:

1 = käsittelemätön
2 = taimen verso siveltiin istutuksen jälkeen hirvensarviöljyllä ja taimen ympärille levitettiin 16 g ureaa 40—50 cm:n säteellä

[1] Ks. Raulo ja Hinttala 1975

3 = taimen verso siveltiin hirvensarviöljyllä, ei lannoitusta
4 = taimen ympärille levitettiin 16 g ureaa 40—50 cm:n säteellä

Näissä kokeissa käytettiin myös Kittilän alkuperää olevia taimia, jotka edustivat koulittua taimilajia 1(Mk+A). Taimet olivat istutushetkellä hyväkuntoisia. Molemmilla koealueilla em. käsittelyt toistettiin viisi kertaa 20 m×20 m:n suuruisena koeruutuna. Näihin istutettiin 90—150 tainta aurausjäljen pientareeseen.
Yleistietoja aitaamattomista koealueista:

1. Salla (66°40′ P; 28°45′ I; 290 m mpy).
   Alkuperäinen metsä oli kuusi-hieskoivusekametsä, jossa kuusen osuus oli n. 80 %. Alue oli avohakattu talvella 1970—71 ja käsitelty piennarauralla kesälla 1971. Maalaji oli hietamoreenia.
2. Sodankylä, Poksaselkä (67°50′ P; 26°10′ I; 340 m mpy).
   Alkuperäinen metsä oli kuusi-hieskoivusekametsä, jossa kuusen osuus oli n. 80 %. Koealue oli avohakattu talvella 1971—72 ja käsitelty piennarauralla kesällä 1972. Maalaji oli hietamoreenia.

Taimet inventoitiin kesäkuun puolivälissä 1974. Tällöin laskettiin elävien vioittumattomien ja kuolleiden taimien määrät. Muista elävistä taimista arvioitiin verson vauriot seuraavasti:

— poro riipinyt
— myyrä tai jänis vioittanut

3. TUTKIMUSKAUDEN SÄÄOLOT

Tutkimuskauden alkuvuodet sattuivat poikkeuksellisen lämpimään jaksoon, sillä kesät 1972, 1973 ja 1974 olivat huomattavasti lämpimämpiä kuin kesät keskimäärin Pohjois-Suomessa tällä vuosisadalla (taulukko 2, kuva 1). Kesät 1971, 1975 ja 1976 taas olivat jonkin verran keskimääräistä kylmempiä. Kasvukausien lämpösumman kehityksessä oli tyypillistä se, että kesäkuun puoliväliin mennessä kertynyt vuotuinen lämpösumma (+5°C kynnysarvo) oli eri vuosina hyvin samansuuruinen. Koska Rovaniemen aidatulla koealueella ei tehty sääoloja koskevia mittauksia, käytetään tässä yhteydessä tietoja, jotka on saatu mahdollisimman läheltä ko. aluetta. Havaintopisteenä oli metsähallinnon Imarin taimitarha Rovaniemen kunnassa (kuva 2). Koko vuotta koskevat havainnot saatiin Rovaniemen kunnassa sijaitsevalta Ilmatieteen laitoksen Apukan havaintoasemalta (66°35′ I; 26°01′ I; 103 m mpy) (taulukko 2).

Sademäärä oli kesinä 1971 ja 1973 jokseenkin samansuuruinen. Kesällä 1972 satoi noin neljänneksen enemmän ja kesinä 1975 ja 1976 lähes kaksinkertaisesti sekä kesällä 1974 peräti kolminkertaisesti ensin mainittuihin kesiin verrattuna (taulukko 2, kuva 2).

Istutusajankohdan, samoin kuin sitä välittömästi edeltävien ja seuraavien vuorokausien sääoloilla on luonnollisesti suuri vaikutus istutustulokseen. Kuvassa 2 esitetään sademäärien ohella myös viljelykesien vuorokautiset maksimi-, minimi- ja keskilämpötilat Imarin taimitarhalla. Kuviin on merkitty vaaka-akselille nuolilla istutusajankohdat. Istutuspäivän pilvisyystilanne nähdään taulukosta 3, jossa esitetään erikseen istutuspäivän, istutuspäivän ja sitä edeltäneen sekä seuranneen päivän, istutuspäivän ja kahden edeltäneen ja kahden seuranneen päivän sekä istutuspäivän ja kolmen edeltäneen ja kolmen seuranneen päivän keskilämpötilat ja sademäärät sekä niiden perusteella laskettu humidisuusluku, joka määritettiin jakamalla kunkin jakson sademäärä kyseisen jakson keskilämpötilalla.

Taulukko 2. Tutkimusvuosien kuukautiset keskilämpötilat ja sademäärät sekä vastaavat pitkän ajan (1930—1961) keskiarvot Ilmatieteen laitoksen Rovaniemen kunnan havaintoasemalla Apukassa.

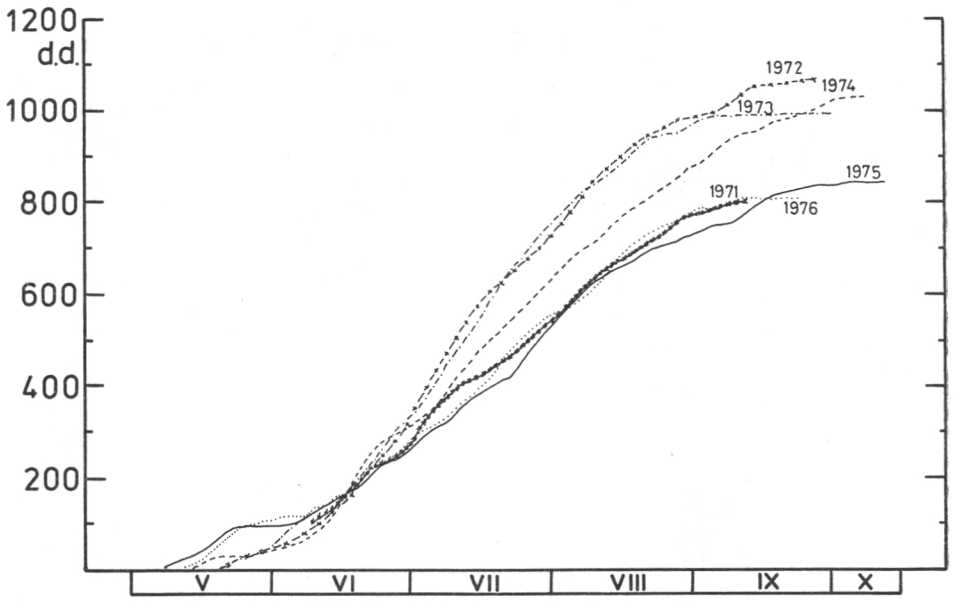
Table 2. Monthly mean temperature and rainfall during the experiment and corresponding long-term (1930—1961) averages at the Meterological Institute's climate stations in Apukka in Rovaniemi township.

KUUKAUSI *Month*	KESKILÄMPÖTILA °C — *Temperature*							SADEMÄÄRÄ mm — *Rainfall*						
	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1930—1961	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1930—1961
Tammikuu — *January*	—11,4	—11,6	—7,9	—8,7	—10,3	—18,2	—13,0	46,3	15,5	46,1	43,1	53,9	34,6	32
Helmikuu — *February*	—13,6	—11,6	—10,8	—6,8	—8,1	—10,9	—12,2	36,7	22,9	29,6	53,3	11,1	20,5	27
Maaliskuu — *March*	—13,8	—6,8	—6,3	—4,8	—3,0	—10,0	—8,2	14,8	8,6	30,7	5,2	19,8	20,7	17
Huhtikuu — *April*	—3,5	—0,6	—0,4	0,5	—1,4	—1,1	—1,3	26,2	32,8	37,7	9,1	25,7	20,7	30
Toukokuu — *May*	4,5	4,6	5,4	4,4	7,2	7,4	5,7	28,7	29,8	40,9	20,4	54,5	8,2	33
Kesäkuu — *June*	12,4	14,7	13,7	13,9	10,7	10,4	12,0	8,1	62,3	35,2	106,8	47,6	33,1	55
Heinäkuu — *July*	14,2	17,9	18,5	15,5	13,2	13,4	15,1	68,2	52,5	57,6	101,5	53,4	80,6	67
Elokuu — *August*	12,5	13,2	11,6	13,0	10,8	12,3	13,0	35,0	63,1	53,1	89,7	45,7	37,4	74
Syyskuu — *September*	5,4	7,0	3,9	9,8	7,9	4,0	7,3	53,8	55,6	40,6	96,1	132,9	36,4	54
Lokakuu — *October*	—0,9	0,3	—4,2	0,8	0,6	—2,5	0,8	48,2	40,6	23,9	37,8	58,1	33,5	48
Marraskuu — *November*	—11,1	—7,1	—9,9	—5,2	—4,2	—10,6	—4,6	45,1	50,8	21,9	37,4	60,0	51,3	40
Joulukuu — *December*	—9,5	—2,7	—17,1	—3,3	—12,0	—7,4	—9,0	28,1	49,9	33,4	53,6	41,4	26,9	35
Yhteensä — *Total*								435	484	452	654	607	404	512

Taulukko 3. Aidatun alueen viljelykokeen istutusajankohtien sääolot. Selitys: ○ = viljelypäivä aurinkoinen, ◑ = puolipilvinen ja ● = pilvinen; 1 = viljelypäivä, edellinen ja jälkeinen mukaan lukien, 2 = viljelypäivä, kaksi edellistä ja jälkeistä mukaan lukien, 3 = viljelypäivä, kolme edellistä ja jälkeistä mukaan lukien. Humidisuus = sademäärä: keskilämpötila.

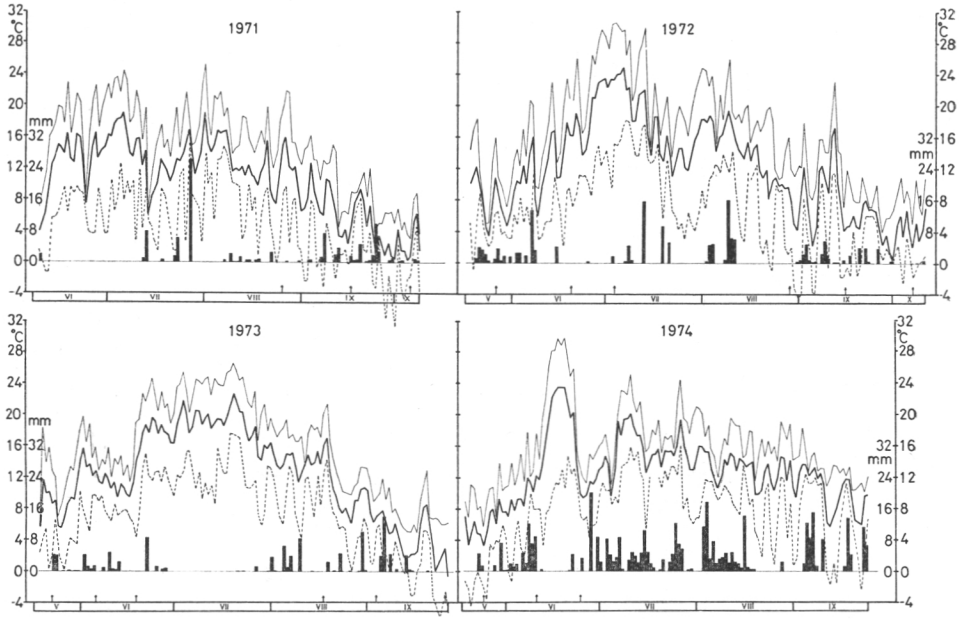
Table 3. Weather in the fenced area during the planting times. Legend: ○ = planting day sunny, ◑ = partly cloudy, ● = cloudy; 1 = planting day including 1 day before and after, 2 = planting day including 2 days before and after, 3 = planting day including 3 days before and after. Humidity = rainfall/mean temperature.

Viljely *Planting*	Viljely-päivä *Planting date*	Lämpötila °C — *Temperature*						Sademäärä mm — *Rainfall*				Humidisuus *Humidity*			Pilvisyys *Cloudiness*
		Viljelypäivä *Planting day*			1	2	3	Viljelypäivä *Planting day*	1	2	3	1	2	3	
		Max.	Min.	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$								
Syksy-71 — *Autumn-71*	08.25.	19,0	8,6	13,2	14,0	12,3	11,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,01	0,02	0,02	◑
	09.16.	8,9	—2,3	4,3	4,8	5,4	5,6	—	1,6	2,1	6,3	0,33	0,39	1,13	●◑
	10.05.	3,3	—3,0	0,7	2,0	2,8	2,4	0,5	2,0	2,8	10,3	0,05	3,36	4,29	●◑
Kevät-72 — *Spring-72*	05.26.	15,5	5,2	9,4	8,9	7,4	6,8	2,1	4,3	4,9	7,9	0,48	0,66	1,16	○○
	06.19.	22,6	7,5	18,1	16,7	16,8	16,0	—	—	—	—	0,00	0,00	0,00	○○
	07.03.	30,6	14,7	22,4	23,6	23,4	23,6	—	1,6	1,6	1,6	0,07	0,07	0,07	○○
Syksy-72 — *Autumn-72*	08.28.	17,9	2,1	10,0	9,1	8,5	8,0	—	—	—	—	0,00	0,00	0,00	○○
	09.15.	7,7	—0,4	4,2	5,6	6,4	7,9	—	0,9	3,2	3,4	0,	0,50	0,43	●◑
	10.07.	10,9	1,7	5,7	3,3	3,6	4,5	—	0,3	0,3	1,2	0,09	0,08	0,27	◑
Kevät-73 — *Spring-73*	05.22.	14,9	—0,2	8,3	9,2	8,6	8,6	0,1	4,3	8,3	8,3	0,47	0,97	0,97	○○
	06.05.	18,0	9,4	12,8	12,1	12,2	12,4	—	1,9	3,1	8,1	0,16	0,25	0,65	◑○
	06.18.	19,3	0,4	12,0	13,7	13,6	13,8	—	—	—	—	0,00	0,00	0,00	○
Syksy-73 — *Autumn-73*	08.17.	23,0	11,7	16,6	15,6	14,9	14,1	—	—	2,4	2,4	0,00	0,07	0,17	○○
	09.03.	10,5	5,4	10,5	6,9	7,2	7,5	—	—	3,9	18,6	0,00	0,54	2,48	○◑
	09.25.	7,0	—0,6	7,0	1,5	1,1	1,0	—	0,2	0,7	0,7	0,13	0,64	0,70	◑
Kevät-74 — *Spring-74*	05.24.	7,1	1,4	7,1	4,2	4,9	5,5	—	1,4	5,7	5,7	0,33	1,16	1,04	◑
	06.10.	18,0	7,7	18,0	11,2	11,6	12,4	3,9	11,5	23,9	25,9	1,03	2,06	2,09	◑◑
	06.24.	13,8	5,2	13,8	10,9	12,5	13,3	0,1	3,4	7,6	7,8	0,31	0,61	0,59	◑



Kuva 1. Ilman lämpösumma (+5°C kynnysarvo, mittauskorkeus 2 m) Imarin taimitarhalla vuosina 1971—76.

Fig. 1. Number of degree days in the air (+5°C threshold, at 2 m height) at the Imari nursery in 1971—76



Kuva 2. Vuorokautinen sademäärä ja ilman maksimi- (—), keski- (▬) ja minimilämpötila (- - -) (mittauskorkeus 2 m) Imarin taimitarhalla vuosina 1971—74.

Fig. 2. Daily rainfall and daily maximum (—), mean (▬) and minimum (- - -) air temperatures (at 2 m height) at the Imari nursery in 1971—74.

4. TUTKIMUKSEN TULOKSET

Aineisto jaettiin taimien elossaolosadanneksen, vuotuisen pituuskasvun ja kokonaispituuden osalta siten, että voitiin vertailla vuosijaksojen tuloksia toisiinsa eri mittausvuosina viljelyajankohdittain ja taimilajeittain erikseen pientareeseen ja palteeseen istutettujen taimien osalta (taulukot 4—13).

41. Taimien elossaolo

Kummankin taimilajin istutus pientareeseen onnistui parhaiten syksyllä taimien lehtien kellastumisen jälkeen tai keväällä ennen kuin lehdet olivat saavuttaneet ns. hiirenkorva-asteen (taulukko 4). Aineistossa esiintyi jonkin verran vaihtelua viljelyajankohdan edullisuudessa eri viljelyvuosien välillä. Erityisesti vuosijaksona 1973—1974 vihreälehtisinä istutetut taimet ja taimilajin 1(Mr—A) osalta myös ne taimet, jotka istutettiin hiirenkorvavaiheessa menestyivät heikosti.

Palteessa tulokset olivat hyvin samansuuntaisia kuin pientareessakin (taulukko 5). Taimilajien välinen ero oli kuitenkin pienempi palteessa kuin pientareessa. Parhaiten onnistuivat syysistutukset, joiden välillä ei ollut sanottavaa eroa. Kevätistutukset onnistuivat yleensä syysistutuksia heikommin. Erityisen heikosti menestyivät taimet, jotka olivat saavuttaneet hiirenkorva-asteen ennen istutusta.

Yleisenä piirteenä voidaan todeta, että jo toisen kasvukauden jälkeinen inventointitulos antoi luotettavan kuvan viljelyajankohtien eroista (taulukot 6 ja 13). Vuosijakson 1971—72 viljelyissä eri ajankohtien välinen, elossaolosadanneksina esitetty paremmuusjärjestys pysyi lähes samana koko inventointijakson ajan. Ajankohtien väliset erot olivat samoin merkitseviä ja pysyivät samanlaisina inventointivuosien kuluessa. Vuosijakson 1972—1973 viljelyissä ei eri ajankohtien välillä ollut 5 % riskitason ylittäviä eroja. Onnistumisprosentti oli pientareessa ensimmäisen kasvukauden jälkeen yli 90 % (taulukko 4). Palteeseen istutetut taimet menestyivät huomattavasti heikommin (taulukko 5). Neljän kasvukauden jälkeen oli istutetuista taimista elossa 45—65 %. Vuosijakson 1973—1974 tulokset olivat sekä pientareessa että palteessa hyvin samantapaiset kuin edellisenäkin vuosijaksona. Tosin eri ajankohtien välillä oli merkitseviäkin eroja. Aikaisin keväällä ja myöhään syksyllä tehdyt viljelyt onnistuivat parhaiten.

Onnistuminen oli kolmen kasvukauden jälkeen pientareessa alle 60 % ja palteessa vain hieman yli 30 %. Yleensä kaikki viljelyjaksot huomioonottaen pientareessa elossaolo säilyi 90 %:n tienoilla. Tosin myös palteessa parhaimmat istutukset antoivat 80—90 %:n onnistumistuloksen.

Vuosijakson 1971—1972 istutuksissa elossaolosadannesten erot eri taimilajien ja viljelykohtien välillä voimistuivat kasvukausien lisääntyessä (taulukot 6 ja 13). Samoin voimistui ajankohdan ja viljelykohdan yhteisvaikutus. Vuosijakson 1972—1973 viljelyissä tulokset poikkesivat edellisestä vuosijaksosta siinä suhteessa, että viljelyajan-

Taulukko 4. Pientareeseen eri vuosina ja ajankohtina viljeltyjen erilaisten rauduskoivun taimilajien elossaolosadannes ($\bar{x} \pm s$) mittausvuosittain. Ajankohdat: 1 = syksyllä lehdet vihreänä, 2 = kellastuneena, 3 = varisseena; 4 = keväällä lehtisilmut lepotilassa, 5 = turvonneet ja 6 = avautuneet (lehdet hiirenkorvalla).

Table 4. Annual surviva' percentage for the different types of Silver birch nursery stock planted on the shoulder at different developmental stages during different years. Stages: 1 = in the autumn, leaves green, 2 = turned yellow, 3 = fallen off; 4 = in the spring, buds dormant, 5 = buds swollen, 6 = leaves emerging.

Ajankohta *Developmental stage*	VILJELYVUOSI — *PLANTING YEAR*											
	1971—1972					1972—1973				1973—1974		
	MITTAUSVUOSI — *MEASURING YEAR*											
	1972	1973	1974	1975	1976	1973	1974	1975	1976	1974	1975	1976
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mk+A)*											
1	100,0± 0,0	99,0± 2,5	97,1± 5,2	96,2± 7,6	96,2± 7,6	100,0±0,0	98,1± 3,2	100,0± 0,0	99,0± 2,5	51,4±16,2	53,3±14,4	51,4±15,3
2	100,0± 0,0	99,0± 2,5	99,0± 2,5	98,1± 3,3	98,1± 3,3	100,0±0,0	97,1± 7,6	96,2±10,1	96,2± 7,6	85,7±11,8	96,2± 3,6	94,3± 4,6
3	97,1± 7,6	97,1± 7,6	96,2± 7,6	93,3± 8,6	93,3± 8,6	100,0±0,0	99,0± 2,5	98,1± 3,3	95,2±10,0	96,2±10,1	100,0± 0,0	98,1± 3,3
4	99,0± 2,5	98,1± 3,2	98,1± 3,3	96,2± 5,2	97,1± 3,6	99,0±2,5	96,2± 3,6	96,2± 5,2	97,1± 3,6	99,0± 2,5	97,1± 7,6	97,1± 7,6
5	93,3± 6,7	89,5±10,1	87,6±10,5	86,7±11,5	87,6±10,5	100,0±0,0	97,1± 5,2	100,0± 0,0	98,1± 5,0	99,0± 2,5	99,0± 2,5	95,2± 7,4
6	89,5± 8,5	82,9±12,7	90,5± 8,5	85,7± 5,2	84,8± 7,4	100,0±0,0	96,2± 6,5	93,3±10,2	92,4± 9,8	93,3±12,2	95,2± 5,0	93,3± 5,4
$\bar{x}$	96,5	94,3	94,8	92,7	92,9	99,8	97,3	97,3	96,3	87,5	90,2	88,3
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mr—A)*											
1	88,6±13,7	95,2± 5,0	90,5± 8,5	86,7± 8,6	85,7± 7,1	95,2±8,4	88,6±13,7	91,4± 6,3	89,5± 7,6	71,4±20,6	44,8±33,6	42,9±21,7
2	98,1± 5,0	97,1± 5,2	97,1± 5,2	92,4±12,4	92,4±11,8	96,2±5,2	93,3±10,2	95,2± 3,3	93,3± 5,4	98,1± 5,0	88,6± 9,2	84,8±13,7
3	94,3± 4,6	86,7± 7,7	90,5± 6,5	84,8± 6,3	83,8± 9,3	97,1±3,6	94,3± 8,1	93,3± 9,4	92,4± 9,8	79,0±12,4	88,6± 9,2	89,5± 9,3
4	89,5±10,1	84,8±12,0	82,9±10,8	83,8±15,3	81,9±15,3	95,2±5,0	92,4± 6,0	89,5±12,1	88,8± 9,5	92,4± 8,1	84,8±22,0	82,9±23,0
5	97,1± 3,6	98,1± 3,3	94,3± 9,8	95,2± 6,3	95,2± 6,3	95,2±5,0	81,9±10,7	84,8±12,0	81,9±11,4	91,4±12,6	88,6±10,0	86,7± 9,4
6	95,2± 7,5	89,5±10,1	92,4± 9,8	86,7±13,3	85,7±12,4	99,0±2,5	88,6± 8,4	89,5± 8,5	89,5± 8,5	93,3±10,2	73,3±17,2	61,9±28,5
$\bar{x}$	93,8	91,9	91,3	88,3	87,5	96,3	89,8	90,6	89,3	87,6	78,1	74,8

Taulukko 5. Pientareeseen eri vuosina ja ajankohtina viljeltyjen erilaisten rauduskoivun taimilajien elossaolosadannes ($\bar{x} \pm s$) mittausvuosittain. Ajankohdat: 1 = syksyllä lehdet vihreänä, 2 = kellastuneena, 3 = varisseena; 4 = keväällä lehtisilmut lepotilassa, 5 = turvonneet ja 6 = avautuneet (lehdet hiirenkorvalla).

Table 5. Annual survival percentage for the different types of Silver birch nursery stock planted on the shoulder at different developmental stages during different years. Stages: 1 = in the autumn, leaves green, 2 = turned yellow, 3 = fallen off, 4 = in the spring, buds dormant, 5 = buds swoller, 6 = leaves emerging.

Ajankohta *Developmental stage*	VILJELYVUOSI — *PLANTING YEAR*											
	1971—1972					1972—1973				1973—1974		
	MITTAUSVUOSI — *MEASURING YEAR*											
	1972	1973	1974	1975	1976	1973	1974	1975	1976	1974	1975	1976
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mk+A)*											
1	98,1± 5,0	97,1± 5,2	96,2± 5,2	95,2± 5,0	94,3± 6,0	99,0±2,5	42,9±17,6	42,9±13,8	41,9±13,7	25,7± 8,1	23,8± 8,5	23,8±10,1
2	100,0± 0,0	90,5± 8,5	88,6± 7,4	85,7± 9,0	85,7± 9,0	99,0±2,5	45,7±17,4	48,6±21,7	46,7±20,4	84,8±12,6	85,7± 8,1	81,9± 9,2
3	100,0± 0,0	97,1± 3,6	95,2± 5,0	93,3± 7,7	94,3± 6,0	97,1±3,6	49,5±17,2	51,4±19,5	49,5±19,2	88,6± 7,4	91,4±10,7	90,5±10,1
4	99,0± 2,5	90,5±11,5	86,7±15,4	84,8±14,8	85,7±15,1	98,1±5,0	59,0±15,1	58,1±14,3	58,1±14,3	95,2± 7,4	88,6± 9,2	90,5±10,1
5	74,3±14,1	61,0±14,6	55,2±19,1	56,2±16,3	56,2±16,3	100,0±0,0	77,1± 9,3	80,0± 9,4	80,0± 9,4	93,3± 5,4	92,4± 6,0	91,4± 5,0
6	61,9±18,3	42,9±18,4	38,1±15,3	38,1±13,2	40,0±12,8	97,1±3,6	61,9±14,8	62,9±15,8	59,0±18,2	90,5±17,2	89,5±15,3	89,5±15,3
$\bar{x}$	88,9	79,8	76,7	75,6	76,0	98,4	56,0	57,3	55,9	79,7	78,6	77,9
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mr—A)*											
1	94,3± 6,0	96,2± 5,2	89,5± 9,3	84,8± 9,2	83,8± 8,5	97,1±3,6	41,0±16,5	47,6±11,8	47,6±16,1	54,3±24,5	41,0±20,2	40,0±19,6
2	96,2± 5,2	87,6±11,2	86,7±10,2	87,6±10,5	87,6±10,5	92,4±4,6	54,3±15,6	54,3±15,1	52,4±11,8	86,7±11,5	90,5± 7,6	84,8±11,4
3	89,5±10,1	76,2±14,3	79,0±15,1	79,0±11,8	80,0±12,2	93,3±6,7	53,3±15,4	50,5±11,5	48,6±10,7	70,5± 5,2	73,3±18,9	70,5±19,6
4	75,2±34,6	66,7±18,1	61,9±14,3	60,0±14,4	62,9±12,7	97,1±5,2	54,3± 7,1	61,9± 5,0	58,9± 7,8	88,6± 7,4	82,9± 9,3	82,9± 9,3
5	108,6±41,0	86,7± 7,7	81,0± 7,1	81,0±13,0	80,0±12,2	91,4±6,3	38,1±14,3	39,0±14,1	46,7±28,0	85,7±15,6	79,0±13,6	77,1±14,3
6	85,7±13,0	77,1±16,3	69,5±20,7	65,7±20,5	66,7±15,9	95,2±5,0	50,5±10,8	52,4± 7,1	50,5± 6,5	88,6±10,7	74,3±17,4	61,0±26,5
$\bar{x}$	91,6	81,7	77,9	76,3	76,8	94,4	48,6	51,0	50,6	79,0	73,5	69,4

Taulukko 6. Varianssianalyysien F-arvot ja erojen merkitsevyydet taulukoissa 4 ja 5 esitetyille taimien elossaoloprosenteille.

Table 6. F-values from the analyses of variance and significance of differences for survival percentages shown in Tables 4 and 5.

Mittausvuosi *Measuring year*	Vaihtelun lähde — *Source of variance*						
	2. Ajankohta *2. Developmental stage*	3. Taimilaji *3. Nursery stock*	4. Viljelykohta *4. Planting spot*	2 × 3	2 × 4	3 × 4	2 × 3 × 4
Viljelyjakso 1971—1972 — *Planting period*							
1972	11,53***	0,06	8,96**	12,46***	3,35**	3,58°	1,35
1973	17,30***	1,58	38,46***	15,41***	4,05**	0,99	1,04
1974	12,87***	2,94°	79,85***	10,38***	6,25***	1,05	1,13
1975	11,63***	4,11*	60,24***	10,04***	4,65***	1,96	0,93
1976	12,87***	7,38**	60,39***	11,42***	4,63***	2,79°	0,86
Viljelyjakso 1972—1973 — *Planting period*							
1973	0,68	10,76**	9,17**	8,12***	1,28	0,68	0,57
1974	0,89	24,07***	529,92***	4,98***	3,12*	0,34	1,23
1975	0,36	29,45***	571,05***	6,45***	3,18**	6,16*	1,22
1976	0,60	20,35***	402,07***	3,06*	2,99*	6,33*	0,80
Viljelyjakso 1973—1974 — *Planting period*							
1974	37,51***	10,66**	25,06***	6,75***	0,78	1,49	0,49
1975	45,48***	31,13***	24,29***	3,93**	1,17	4,32*	0,46
1976	35,04***	27,07***	14,46***	4,05**	0,72	1,57	0,67

kohtien väliset erot eivät olleet ainoanakaan mittausvuonna merkitseviä. Sen sijaan taimilajien ja viljelykohtien ero oli selvä. Tämä ero myös voimistui jonkin verran ensimmäisen mittausvuoden jälkeen. Ero aiheutti sen, että taimilajien ja viljelykohtien sekä niiden yhdistelmien yhteisvaikutus oli merkitsevä. Vuosijakson 1973—1974 mittaukset eivät osoittaneet selvää suuntausta, vaan ero eri mittauskerroilla oli elossaolosadanneksissa lähes yhtä suuri. Sekä taimilajien että viljelykohtien väliset erot olivat erittäin merkitseviä.

42. Taimien pituuskasvu

Pientareeseen istutettujen taimien pituuskasvu oli yleensä suurinta silloin, kun taimet oli istutettu lepotilassa keväällä tai lehtien kellastumisen jälkeen syksyllä (taulukko 7). Selvästi heikoin tulos saavutettiin silloin, kun istutettujen taimien lehdet olivat saavuttaneet hiirenkorva-asteen. Taimilajien välillä ero oli keskimäärin 5—7 cm taimilajin 1(Mk+A) hyväksi. Vuosijakson 1972—1973 taimilla oli kasvu kuitenkin kummallakin taimilajilla toisesta kasvukaudesta lähtien yhtä hyvä. Kasvu näytti yleensä olevan nopeinta kolmantena ja neljäntenä kasvukautena. Vuosijaksolla 1973—

1974 istutetut hiirenkorva-asteen saavuttaneet taimet kasvoivat poikkeuksellisen hyvin. Muilta osin tulokset olivat jokseenkin yhdenmukaisia vuosijakson 1971—1972 tulosten kanssa.

Palteeseen istutetut taimet kasvoivat keskimäärin 5 cm enemmän vuodessa kuin pientareeseen istutetut taimet (taulukko 8). Suurimmillaan ero oli 6—8 cm kolmantena ja neljäntenä kasvukautena. Eri viljelyajankohtien välinen ero suureni 2—3 ensimmäisen vuoden aikana, mutta tasoittui sen jälkeen (taulukko 9). Palteessa eri taimilajien kasvuero ei ollut niin suuri kuin pientareessa ja vuosijakson 1972—1973 viljelyissä taimilaji 1(Mr—A) kasvoi jopa paremmin kuin taimilaji 1(Mk+A) toisesta kasvukaudesta lähtien (taulukko 8). Parhaiten kasvoivat sellaiset 1(Mk+A) taimet, jotka oli istutettu keväällä ennen taimien silmujen puhkeamista tai syksyllä taimien lehtien varistua. Heikoimmin menestyivät taimet, jotka istutettaessa olivat saavuttaneet hiirenkorva-asteen. Erot eri ajankohtina istutettujen taimien vuotuisessa pituuskasvussa olivat ensimmäisinä istutusta seuranneina vuosina jopa 15 cm. Ne näyttivät kuitenkin tasoittuvan jonkin verran viidentenä kasvukautena. Vihreälehtisinä istutetut 1(Mr—A) taimet kasvoivat kuitenkin poikkeuksellisen hyvin vuosijakson 1972—1973 istutuksissa. Kasvuerot eri viljelyajankohtien välillä eivät tällä taimilajilla olleet niin suuria kuin taimilajia 1(Mk+A) käytettäessä. Ero eri ajankohtina istutettujen taimien vuotuisessa pituuskasvussa oli aluksi vain 2—8 cm, mutta se lisääntyi kasvukausien lisääntyessä (taulukot 9 ja 13).

43. Taimien pituus

Taimien vuotuisen pituuskasvun mittaustulokset heijastuvat luonnollisesti taimien versojen kokonaispituuteen (taulukot 10—11). Taimet olivat yleensä pisimpiä, kun ne oli istutettu lehtien kellastumisen jälkeen syksyllä tai keväällä ennen kuin ne olivat saavuttaneet hiirenkorva-asteen. Poikkeuksena olivat vuosijaksolla 1973—1974 istutetut taimet. Näistä kasvoivat pientareessa nopeimmin hiirenkorva-asteen saavuttaneet taimet (taulukko 10). Palteessa näin ei ollut asianlaita (taulukko 11). Tämä istutusajankohta sattui lämpimään ja kosteaan ajankohtaan. Vuosijakson 1972—1973 viljelyissä eri taimilajien ero pieneni kasvukausien lisääntyessä. Kasvatuksesta johtuen 1(Mk+A) taimet olivat jo istutettaessa pidempiä kuin 1(Mr—A) taimet. Ero viiden kasvukauden jälkeen oli jo n. 30 cm ja eri ajankohtina istutettujen taimien välillä ero oli suurimmillaan jopa 60 cm. Absoluuttiset erot eri ajankohtina istutettujen taimien menestymisessä olivat palteessa jonkin verran suuremmat kuin pientareessa. Ensimmäisen kasvukauden jälkeen taimet olivat palteessa keskimäärin hieman lyhyempiä kuin pientareessa. Jo toisen kasvukauden aikana palteeseen istutetut taimet alkoivat kasvaa pientareeseen istutettuja taimia paremmin. Kuitenkin vasta kolmannen ja neljännen kasvukauden jälkeen istutuksesta tulivat erot voimakkaina esille.

Taulukko 7. Pientareeseen eri vuosina ja ajankohtina viljeltyjen erilaisten rauduskoivun taimilajien pituuskasvu ($\bar{x}\pm s$, cm) mittausvuosittain. Ajankohdat: 1 = syksyllä lehdet vihreänä, 2 = kellastuneena, 3 = varisseena; 4 = keväällä silmut lepotilassa, 5 = silmut paisuneena ja 6 = lehdet hiirenkorvalla.

Table 7. Height growth ($\bar{x}\pm s$, cm) for the different types of Silver birch nursery stock planted on the shoulder at different developmental stages during different years. Stages: 1 = in the autumn, leaves green, 2 = turned yellow, 3 = fallen off; 4 = in the spring, buds dormant, 5 = buds swollen, 6 = leaves emerging.

Ajankohta *Developmental stage*	VILJELYVUOSI — *PLANTING YEAR*											
	1971—1972					1972—1973				1973—1974		
	MITTAUSVUOSI — *MEASURING YEAR*											
	1972	1973	1974	1975	1976	1973	1974	1975	1976	1974	1975	1976
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mk+A)*											
1	13,0±2,3	20,4±3,1	23,8±6,0	27,5±6,8	17,8±2,9	18,6±5,6	6,4±3,4	12,6±5,4	15,0±5,4	10,6±4,7	11,0±3,4	12,0±5,1
2	15,5±2,9	21,8±6,4	26,4±6,5	29,7±7,7	18,2±3,0	18,5±5,1	8,4±4,0	15,3±4,1	14,4±4,3	3,5±4,1	10,4±7,5	11,0±5,0
3	15,3±3,1	21,7±2,1	20,3±3,5	26,4±7,2	16,4±2,2	23,0±6,6	10,4±4,2	17,2±5,1	17,4±6,3	15,1±2,7	10,4±2,8	15,3±6,4
4	17,5±2,8	20,7±3,2	23,6±4,7	31,7±6,3	18,4±2,6	24,9±3,3	8,6±4,4	16,0±6,4	17,9±3,6	12,2±2,8	12,4±4,8	17,5±5,5
5	9,7±2,6	13,8±1,9	14,0±1,8	17,0±3,5	11,8±1,6	14,4±3,6	7,7±4,3	13,8±3,9	14,4±4,3	16,1±3,8	11,2±3,3	17,3±6,0
6	7,2±1,8	8,6±2,5	11,8±3,4	15,1±6,9	13,3±5,3	13,5±2,7	8,3±4,3	14,0±5,0	15,0±5,4	14,3±6,1	7,1±2,4	15,9±6,9
$\bar{x}$	13,0	17,8	20,0	24,6	16,0	18,8	8,3	14,8	15,7	11,9	10,4	14,8
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mr—A)*											
1	6,6±1,3	14,7±2,5	18,7±3,6	22,0±2,9	14,9±2,3	10,6±3,3	5,8±2,1	9,8±2,7	16,0±5,1	1,3±0,6	3,5±2,4	6,0±5,8
2	8,6±5,8	14,1±7,4	19,2±5,3	23,1±6,6	14,7±3,7	11,7±4,7	9,4±3,5	15,9±2,4	17,1±5,5	12,1±6,1	7,9±3,2	9,4±3,7
3	5,8±2,1	12,2±1,5	14,5±2,5	18,1±3,6	12,3±2,2	11,8±1,1	8,6±2,9	13,0±2,7	16,9±5,5	2,1±0,9	5,0±1,7	7,2±3,5
4	6,2±2,3	12,5±4,4	15,8±3,8	18,4±6,6	12,4±3,7	10,2±2,3	9,1±5,1	18,2±5,2	17,1±5,1	2,2±0,5	4,6±2,3	6,0±2,1
5	6,3±0,8	10,3±1,8	15,2±2,9	16,8±4,9	12,2±1,9	10,1±3,3	8,0±3,5	12,8±4,7	16,2±5,2	2,9±1,5	5,5±2,7	11,1±4,6
6	5,7±1,4	8,3±2,7	11,7±1,9	14,2±4,9	11,6±4,4	8,7±2,7	7,4±3,8	12,6±6,2	13,4±6,8	4,4±3,7	5,5±4,1	9,3±2,7
$\bar{x}$	6,6	12,0	15,9	18,8	13,0	10,5	8,1	13,7	16,1	4,2	5,3	8,2

3 127706868C

Taulukko 8. Palteeseen eri vuosina ja ajankohtina viljeltyjen erilaisten rauduskoivun taimilajien pituuskasvu ($\bar{x}\pm s$, cm) mittausvuosittain. Ajankohdat: 1 = syksyllä lehdet vihreänä, 2 = kellastuneena, 3 = varisseena; 4 = keväällä silmut lepotilassa, 5 = silmut paisuneena ja 6 = lehdet hiirenkorvalla.

Table 8. Height growth for the different types of Silver birch nursery stock planted on the tilt at different developmental stages during different years. Stages: 1 = in the autumn, leaves green, 2 = turned yellow, 3 = fallen off; 4 = in the spring, buds dormant, 5 = buds swollen, 6 = leaves emerging.

Ajankohta *Developmental stage*	VILJELYVUOSI — *PLANTING YEAR*											
	1971—1972					1972—1973				1973—1974		
	MITTAUSVUOSI — *MEASURING YEAR*											
	1972	1973	1974	1975	1976	1973	1974	1975	1976	1974	1975	1976
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mk+A)*											
1	11,8±1,4	21,0±4,4	23,8±5,9	29,3±5,0	18,9±2,9	20,0±5,2	5,8±3,2	16,5±5,3	18,3±4,4	11,2±5,0	16,3±5,8	19,3±5,8
2	12,0±4,2	18,6±4,6	26,6±5,9	31,1±4,4	20,2±3,3	17,7±6,0	10,4±7,0	20,3±3,5	23,0±5,3	5,5±4,6	16,2±4,9	19,4±6,4
3	14,8±2,1	23,6±3,3	25,9±4,3	36,3±3,5	22,7±2,3	22,0±2,7	8,2±3,6	15,4±5,0	21,8±6,7	15,4±2,4	17,7±3,9	27,0±5,2
4	16,8±1,8	22,4±3,2	31,3±8,8	36,8±6,9	23,5±5,5	24,7±3,9	10,6±4,5	17,7±6,9	23,4±7,2	9,8±4,6	18,7±3,7	26,1±5,5
5	7,9±2,1	14,4±2,5	22,9±7,0	24,9±5,8	21,1±6,7	12,0±2,9	9,7±4,0	19,6±4,0	17,1±5,2	15,8±3,7	15,8±3,3	27,6±6,7
6	6,7±1,9	9,7±4,9	19,2±6,6	22,8±6,2	19,6±4,6	11,2±2,7	8,6±4,5	15,6±2,3	17,7±4,6	12,4±5,6	11,4±4,4	18,9±2,7
$\bar{x}$	11,7	18,3	25,0	30,2	21,0	17,9	8,9	17,5	20,2	11,7	16,0	23,0
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mr—A)*											
1	7,0±1,7	13,9±2,8	19,1±4,0	23,3±2,3	16,1±3,7	13,3±5,5	18,1±5,9	20,3±6,8	30,6±7,0	6,0±9,3	7,1±5,4	11,4±7,8
2	8,7±4,8	18,6±6,7	29,8±5,7	29,3±4,3	19,6±4,0	13,4±7,8	11,9±3,8	21,4±3,1	27,0±8,5	14,2±5,3	12,7±3,1	18,7±5,7
3	6,4±2,6	15,3±2,2	19,5±2,1	25,8±3,3	18,8±3,2	11,8±1,5	13,6±8,9	18,7±2,7	25,3±8,6	2,7±1,9	9,1±3,2	21,3±5,8
4	6,6±3,7	14,7±3,1	22,2±5,9	25,5±6,5	17,7±5,4	8,5±2,2	9,7±5,8	21,7±4,0	24,2±8,1	4,5±1,5	12,2±4,2	17,6±8,7
5	7,1±2,2	13,3±2,7	20,2±4,0	24,2±4,3	19,2±1,4	7,6±2,1	9,3±3,2	16,0±6,9	17,3±5,5	5,2±3,3	11,2±4,4	22,6±9,2
6	6,8±2,5	9,6±3,7	16,4±3,7	22,7±4,3	18,0±6,3	9,0±2,4	8,4±4,1	18,5±7,9	21,6±9,2	4,0±3,1	5,0±2,2	12,6±5,2
$\bar{x}$	6,9	14,3	21,2	25,1	18,2	10,6	11,8	19,4	24,3	6,1	9,5	17,4

Taulukko 9. Varianssianalyysien F-arvot ja erojen merkitsevyydet taulukoissa 7 ja 8 esitetyille taimien kasvutuloksille.

Table 9. F-values from the analyses of variance and significance of differences for seedling growth shown in Tables 7 and 8.

Mittausvuosi *Measuring year*	Vaihtelun lähde — *Source of variance*						
	2. Ajankohta *2. Developmental stage*	3. Taimilaji *3. Nursery stock*	4. Viljelykohta *4. Planting spot*	2 × 3	2 × 4	3 × 4	2 × 3 × 4
Viljelyjakso 1971—1972 — *Planting period*							
1972	15,55***	80,28***	1,55	29,75***	0,48	0,79	1,10
1973	26,00***	35,00***	4,41*	10,98***	0,39	0,23	1,62
1974	17,30***	18,42***	48,11***	4,30**	1,89°	3,78°	1,25
1975	15,19***	41,33***	50,39***	5,13***	1,90°	0,31	0,42
1976	2,03°	23,17***	72,21***	1,60	2,93*	0,02	0,34
Viljelyjakso 1972—1973 — *Planting period*							
1973	15,03***	92,69***	0,39	21,42***	0,93	0,11	0,33
1974	0,90	1,92	9,33**	2,32*	1,26	6,03*	2,45*
1975	2,32*	0,11	33,79***	0,93	1,01	6,04*	0,91
1976	2,82*	5,65*	45,32***	1,16	1,38	3,62°	0,99
Viljelyjakso 1973—1974 — *Planting period*							
1974	1,28	235,84***	1,13	2,36*	0,78	2,82°	0,38
1975	6,45***	102,05***	66,42***	1,84	1,20	1,49	0,42
1976	5,64***	44,31***	87,86***	1,59	2,35*	0,28	0,15

Viljelyajankohdan vaikutus taimien pituuskasvuun oli hyvin samantapainen eri vuosina (taulukot 12 ja 13). Vuosijakson 1971—1972 istutuksissa voimistuivat erot viljelykohtien välillä kasvukausien lisääntyessä. Vuosijakson 1972—1973 istutuksissa viljelyajankohdan ja taimilajien yhteisvaikutuksen merkitsevyys heikkeni viljelysten vanhetessa. Tulokset vuosijakson 1973—1974 istutuksista olivat vuosijakson 1971—1972 tulosten kaltaiset.

44. Sään vaikutus viljelytulokseen

Korrelaatio- ja regressioanalyysillä selvitettiin taimien elossaolon ja pituuskasvun riippuvuutta viljelyajankohdan humidisuudesta, jonka ryhmittely on esitetty sivulla 7 ja taulukossa 3. Laskelmat tehtiin viljelykohdittain lineaarisen mallin sekä $\sqrt{x}$- että x^2-mallin mukaisesti (taulukko 14). Elossaolokuvaajan tulee noudattaa $\sqrt{x}$-käyrää eli olla hyperbelin muotoinen, sillä korkein onnistumisprosentti on 100. Kasvun osalta aineiston laajuus määrää, minkä muotoinen kuvaaja selittää riippuvuutta parhaiten. Selitysaste ei missään mallissa noussut kovin korkeaksi. Parhaiten riippuvuutta palteessa selitti $\sqrt{x}$-käyrä sekä elossaolon että kasvun osalta. Selitysaste taimien

Taulukko 10. Pientareeseen eri vuosina ja ajankohtina viljeltyjen erilaisten rauduskoivun taimilajien pituus ($\bar{x}\pm s$, cm) mittausvuosittain. Ajankohdat: 1 = syksyllä lehdet vihreänä, 2 = kellastuneena, 3 = varisseena; 4 = keväällä silmut lepotilassa, 5 = silmut paisuneena ja 6 = lehdet hiirenkorvalla.

Table 10. Height ($\bar{x}\pm s$, cm) for the different types of Silver birch nursery stock planted on the shoulder at different developmental stages during different years. Stages: 1 = in the autumn, leaves green, 2 = turned yellow, 3 = fallen off; 4 = in the spring, buds dormant, 5 = buds swollen, 6 = leaves emerging.

Ajankohta *Developmental stage*	VILJELYVUOSI — *PLANTING YEAR*											
	1971—1972					1972—1973				1973—1974		
	MITTAUSVUOSI — *MEASURING YEAR*											
	1972	1973	1974	1975	1976	1973	1974	1975	1976	1974	1975	1976
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mk+A)*											
1	39,5± 7,5	57,9± 9,3	74,6±12,3	98,1±19,1	118,8±18,4	66,8±11,6	67,7± 6,1	74,1±11,7	88,2±18,4	30,8± 6,0	35,0± 6,3	42,2±11,3
2	41,2± 5,1	58,1±16,6	78,6±14,8	106,3±23,0	125,9±23,3	65,5±28,9	65,5±13,1	75,1±13,1	89,5±14,7	16,3± 7,2	44,2±16,0	53,0±20,8
3	45,3± 5,0	61,1± 4,3	76,5± 5,2	100,8± 9,6	117,1±12,4	63,8±11,3	65,4±14,5	74,7±15,3	91,7±17,4	39,4± 5,7	47,0± 5,5	58,4±10,6
4	55,2± 4,5	68,9± 7,4	86,0±10,3	113,8± 9,1	132,7±10,7	74,2± 6,1	80,0± 8,0	89,8±12,9	103,4±16,3	47,2± 1,3	56,5± 4,7	71,5± 9,5
5	27,8± 2,8	38,9± 3,0	52,5± 5,9	65,6±11,2	76,1±10,2	41,7± 4,3	46,0± 5,3	56,4± 6,1	68,7±11,2	52,0± 7,2	60,2±10,2	71,0±14,3
6	23,1± 3,5	25,7± 4,6	34,9± 6,8	49,0±14,5	61,9±18,3	40,4± 3,5	45,5± 4,9	57,4± 7,8	72,6±10,7	58,7±18,3	63,0±20,2	73,8±24,0
$\bar{x}$	38,1	51,8	67,2	88,9	105,4	58,7	61,7	71,3	85,7	40,7	51,0	61,6
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mr—A)*											
1	22,6± 2,6	35,8± 7,1	50,7± 8,1	72,7±11,9	88,4±14,0	47,4±26,4	39,2± 5,7	45,7± 6,7	57,4±11,5	23,7± 4,7	26,8± 8,2	29,5± 9,3
2	26,9±13,1	39,5±20,2	54,3±21,5	78,8±23,5	91,2±26,1	38,9±14,3	44,1±15,4	54,4±13,1	70,7±15,0	37,5±11,9	23,7±10,0	31,4±15,0
3	20,5± 2,9	30,9± 2,6	42,2± 3,6	60,6± 5,1	73,0± 5,9	33,5± 3,2	44,7±11,9	55,8±13,7	74,4±15,2	16,2± 2,9	20,0± 3,0	25,9± 7,1
4	21,2± 3,1	31,4± 6,6	43,3±10,8	59,9±13,6	74,4±19,3	29,9± 3,4	37,8± 7,7	54,9±10,9	67,3±14,4	17,9± 5,4	21,0± 3,0	24,5± 4,8
5	22,6± 3,0	29,0± 4,8	43,1± 5,6	55,8±11,3	66,4±11,1	36,0±19,2	37,3±15,9	46,5±15,3	60,5±17,7	17,8± 1,3	23,1± 2,9	31,2± 9,8
6	18,7± 3,3	22,5± 4,4	32,6± 5,6	48,4±11,9	57,1±13,8	27,9± 4,9	35,0± 5,6	45,4±12,3	55,7±18,3	30,0±17,0	35,4±17,4	39,0±22,1
$\bar{x}$	22,1	31,5	44,4	62,7	75,1	35,6	39,7	50,4	64,3	23,8	25,0	30,2

Taulukko 11. Palteeseen eri vuosina ja ajankohtina viljeltyjen erilaisten rauduskoivun taimilajien pituus ($\bar{x}\pm s$, cm) mittausvuosittain. Ajankohdat: 1 = syksyllä lehdet vihreänä, 2 = kellastuneena, 3 = varisseena; 4 = keväällä silmut lepotilassa, 5 = silmut paisuneena ja 6 = lehdet hiirenkorvalla.

Table 11. Height ($\bar{x}\pm s$, cm) for the different types of Silver birch nursery stock plarted on the tilt at different developmental stages during different years. Stages: 1 = in the autumn, leaves green, 2 = turned yellow, 3 = fallen off; 4 = in the spring, buds dormant, 5 = buds swollen, 6 = leaves emerging.

Ajankohta *Developmental stage*	VILJELYVUOSI — *PLANTING YEAR*											
	1971—1972					1972—1973				1973—1974		
	MITTAUSVUOSI — *MEASURING YEAR*											
	1972	1973	1974	1975	1976	1973	1974	1975	1976	1974	1975	1976
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mk+A)*											
1	28,3± 4,6	58,0± 8,6	75,6± 9,2	101,8±13,6	124,1±15,2	65,9± 8,3	60,9±11,4	71,0±12,7	88,9±16,3	23,8± 5,6	38,1±10,6	52,5±13,6
2	33,9± 6,1	52,2± 8,9	73,6± 7,3	105,6±12,2	125,8±14,5	58,0±27,5	64,8±11,4	81,3±12,0	106,3±13,1	16,3± 5,8	47,6±11,9	64,7±15,2
3	42,5± 3,5	64,4± 7,3	85,2± 9,8	125,8±13,5	144,8±16,0	58,0± 6,5	56,4± 9,2	68,3±10,1	95,0±15,4	35,0± 5,3	52,5± 7,6	76,0±11,1
4	50,5± 6,6	72,5±12,2	86,8±21,3	132,5±22,2	157,0±24,4	70,1±15,2	75,1±22,3	84,5±23,4	103,8±30,4	44,6± 2,5	59,8± 6,8	82,8±10,2
5	25,0± 3,1	42,9± 6,4	61,4±10,9	84,3±17,7	108,2±22,4	38,0±12,1	41,2± 3,4	57,2± 3,5	73,6± 7,5	54,6±12,5	67,2±12,3	90,9±15,5
6	22,7± 4,2	27,8± 6,5	46,7± 9,5	67,2±15,6	83,5±19,2	34,1± 2,7	40,5± 2,4	52,5± 4,4	69,7± 7,6	57,0±17,5	65,8±20,4	78,9±26,0
$\bar{x}$	35,5	53,0	73,2	102,9	123,9	54,0	56,5	69,2	89,6	38,5	55,2	74,3
	Taimilaji — *Nursery stock 1 (Mr—A)*											
1	24,2± 4,2	36,5± 8,5	52,0± 8,7	74,9± 9,1	92,0±10,4	44,4±17,1	49,4± 8,3	65,5±15,9	100,0±20,8	27,6±17,0	25,2±10,5	33,8±14,1
2	27,4± 9,1	46,0±11,7	72,1±13,1	99,6±18,9	119,1±17,9	42,1±21,5	48,9±12,3	67,7±11,8	95,5±10,4	35,2± 9,2	29,4± 7,3	46,5±13,7
3	20,5± 3,4	38,7± 5,4	53,8± 4,3	81,8±10,9	100,7±11,4	31,1± 3,1	48,4±11,6	62,1±11,3	92,6±18,5	16,3± 3,0	23,9± 4,8	44,2± 9,8
4	17,6± 8,8	36,5± 8,2	54,8±14,0	81,6±22,5	97,4±21,2	25,4± 2,3	33,0±10,0	53,1±10,5	75,2±17,6	19,7± 3,2	32,0± 5,4	47,2±14,9
5	28,1±10,4	34,9± 5,9	55,7± 8,2	80,2±14,1	102,0±13,5	26,3± 5,5	31,8± 5,9	47,0±16,4	67,9±22,9	30,3±15,1	38,5±14,7	58,0±19,2
6	22,2± 6,4	28,0± 8,2	45,8±13,6	68,0±15,7	84,0±22,5	26,7± 3,9	35,2± 6,5	51,7±14,9	71,9±24,0	25,2±14,9	30,2±15,1	40,4±16,4
$\bar{x}$	23,3	36,8	55,7	81,0	99,2	32,7	41,1	57,9	84,1	25,7	29,9	45,1

Taulukko 12. Varianssianalyysien F-arvot ja erojen merkitsevyydet taulukoissa 10 ja 11 esitetyille taimien pituustuloksille.

Table 12. F-values from the analyses of variance and significance of differences for seedling heights shown in Tables 10 and 11.

Mittausvuosi *Measuring year*	Vaihtelun lähde — *Source of variance*						
	2. Ajankohta *2. Developmental stage*	3. Taimilaji *3. Nursery stock*	4. Viljelykohta *4. Planting spot*	2 × 3	2 × 4	3 × 4	2 × 3 × 4
Viljelyjakso 1971—1972 — *Planting period*							
1972	24,62***	162,03***	1,20	54,89***	0,74	0,26	1,30
1973	36,61***	106,14***	4,21*	29,11***	0,53	0,14	1,17
1974	33,98***	92,81***	26,80***	26,29***	1,17	0,08	2,02
1975	30,44***	104,70***	46,15***	11,86***	1,84	1,46	0,70
1976	29,03***	107,84***	64,56***	11,12***	2,62*	1,13	0,76
Viljelyjakso 1972—1973 — *Planting period*							
1973	14,42***	54,95***	3,43°	18,45***	0,10	0,01	0,34
1974	21,87***	70,57***	1,80	27,10***	1,01	5,15*	1,16
1975	12,98***	80,78***	2,11	4,32**	1,72	9,26**	0,50
1976	11,01***	27,85***	20,53***	2,44*	1,48	9,20**	1,25
Viljelyjakso 1973—1974 — *Planting period*							
1974	13,10***	257,70***	0,43	11,24***	0,08	2,83	0,24
1975	9,63***	281,78***	5,96*	6,54***	0,42	0,05	0,29
1976	8,33**	171,23***	35,24***	3,24**	1,70	0,22	0,34

elossaololle oli korkeimmillaankin vain 20,6 %. Pituuskasvun osalta selitysaste oli 13,0—17,5 %. Korrelaatiot olivat vastaavasti $0{,}454^{xx}$ ja $0{,}361^{x}$—$0{,}418^{xx}$. Pientareessa korrelaatiot ja siten myös selitysasteet jäivät huomattavasti alhaisemmiksi. Tällöinkin elossaolon ja kasvaimen pituuden riippuvuutta humidisuudesta selitti parhaiten $\sqrt{x}$-käyrä. Korrelaatiokerroin elossaolon osalta oli pientareessa 0,311 ja kasvaimen pituuden osalta 0,230. Vastaavat selitysasteet olivat vain 9,6 ja 5,3 %. Taulukossa 14 esitetään myös laskettujen kuvaajien vakiokertoimet.

45. Taimien käsittely ja esiintyneet tuhot

Tulokset aitaamattomilta Sallan ja Sodankylän koekentiltä osoittivat, että hirvensarviöljykäsittely ei estänyt eikä lisännyt lähinnä porojen näille istutuksille aiheuttamia tuhoja (taulukot 15 ja 16). Sallan koekentällä oli taimia elossa viljelyn jälkeisenä kesänä keskimäärin 90 %. Täysin vioittumattomia oli kaikista istutetuista taimista kuitenkin vain 7 %. Myyrä tai jänis olivat vioittaneet kolmanneksen taimista ja porot olivat riipineet puolet kaikista taimista. Myös kuolleet taimet olivat suurelta osin porojen maasta irroittamia.

Taulukko 13. Viljelyajankohtien (1—6) erot eri vuosijaksoina viljellyissä taimierissä mittausvuosittain eriteltynä. Merkitsevä ero on laskettu 5 % riskitasolla.

Table 13. Differences between planting times for seedling batches planted during different developmental stages according to year of measurement. Significant differences at the 5 % level of probability.

Viljely-jakso *Planting period*	Mittaus-vuosi *Measuring year*	Elossaolo — *Survival*		Kasvaimen pituus — *Length of leader*		Taimen pituus — *Height of seedling*	
		Ajankohdat — *Developmental stages*		Ajankohdat — *Developmental stages*		Ajankohdat — *Developmental stages*	
		Suuruusjärjestys *Size ranking*	Merkitsevä ero *Significant difference*	Suuruusjärjestys *Size ranking*	Merkitsevä ero *Significant difference*	Suuruusjärjestys *Size ranking*	Merkitsevä ero *Significant difference*
1971—1972	1972	2 1 4 5 5 6	2—5, 3—6	4 2 3 1 5 6	3—5, 1—6	4 2 3 1 5 6	—
	1973	1 2 3 4 5 6	1—3, 2—4, 3—6	2 3 1 4 5 6	1—4, 5—6	4 2 3 1 5 6	1—5—6
	1974	1 2 3 4 5 6	2—4, 3—5	2 4 1 3 5 6	2—1, 4—5, 3—6	2 4 3 1 5 6	1—5—6
	1975	2 1 3 4 5 6	2—4, 5—6	2 4 3 1 5 6	1—5	2 4 3 1 5 6	1—5—6
	1976	2 1 3 4 5 6	2—5, 5—6	2 4 3 1 5 6	—	2 4 3 1 5 6	3—5—6
1972—1973	1973	1 6 4 2 3 5	—	3 4 1 2 5 6	2—5	1 2 4 3 5 6	3—5
	1974	3 2 4 6 5 1	—	3 2 4 1 5 6	—	2 4 1 3 6 5	3—6
	1975	5 2 4 3 6 1	—	2 4 3 5 6 1	—	2 4 3 1 6 5	1—6
	1976	5 4 2 3 6 1	—	4 2 3 1 6 5	—	2 3 4 1 5 6	1—5
1973—1974	1974	4 6 5 2 3 1	4—2, 3—1	5 2 3 6 1 4	—	6 5 4 3 1 2	5—3
	1975	3 4 2 5 6 1	6—1	4 2 3 5 1 6	5—6	6 5 4 2 3 1	6—2, 5—3
	1976	4 3 5 2 6 1	4—6—1	5 2 3 2 6 1	5—2, 3—1	5 6 4 3 2 1	3—1

Taulukko 14. Viljelyajankohdan (X_1 = viljelypäivä, edellinen ja jälkeinen mukaan lukien, X_2 = viljelypäivä, kaksi edellistä ja jälkeistä mukaan lukien, X_3 = viljelypäivä, kolme edellistä ja jälkeistä mukaan lukien) humidisuuden (sademäärä, mm/keskilämpötila, °C) vaikutus taimien elossaoloon ja pituuskasvuun palteessa ja pientareessa toisena viljelyn jälkeisenä kesänä. r = korrelaatiokerroin, A ja B = regressioanalyysin vakiokertoimet ja R^2 = regression selitysaste (n = 36).

Table 14. Effect on second-summer survival and height growth of seedlings grown on the tilt and shoulder of the planting times (X_1 = planting day and 1 day before and after, X_2 = planting day and 2 days before and after, X_3 = planting day and 3 days before and after) humidity (rainfall mm/ mean temperature, °C). r = correlation coefficient, A and B = fixed factors in the regression analysis and R^2 = power of explanation for the regression equation (n = 36).

Humidisuustunnus *Humidity index*	Elossaolo — *Survival*				Kasvu — *Height growth*			
	r	A	B	R^2	r	A	B	R^2
	Palle — *Tilt*							
x_1	0,269°	6,54	2,15	7,2	0,406*	1,92	0,70	16,4
x_2	0,381*	6,38	0,93	14,5	0,317°	1,95	0,17	10,1
x_3	0,445**	6,22	0,85	19,8	0,313°	1,94	0,13	9,8
$\sqrt{x_1}$	0,287°	6,28	2,03	8,3	0,418**	1,84	0,64	17,5
$\sqrt{x_2}$	0,425**	5,87	1,77	18,1	0,366*	1,85	0,33	13,4
$\sqrt{x_3}$	0,454**	5,72	1,65	20,6	0,361*	1,84	0,28	13,0
x_1	0,228	6,77	1,93	5,2	0,335*	1,99	0,61	11,2
x_2	0,290°	6,73	0,22	8,4	0,221	2,02	0,04	4,9
x_3	0,338*	6,66	0,16	11,4	0,193	2,02	0,02	3,7
	Piennar — *Shoulder*							
x_1	0,217	8,65	1,16	4,7	0,160	1,38	0,29	2,6
x_2	0,179	8,70	0,29	3,2	0,114	1,40	0,06	1,3
x_3	0,197	8,66	0,25	3,9	0,119	1,40	0,05	1,4
$\sqrt{x_1}$	0,311°	8,39	1,47	9,6	0,230	1,32	0,36	5,3
$\sqrt{x_2}$	0,233	8,48	0,65	5,4	0,102	1,38	0,10	1,0
$\sqrt{x_3}$	0,235	8,45	0,57	5,5	0,117	1,43	0,09	1,4
x_1	0,136	8,81	0,77	1,8	0,070	1,42	0,13	0,5
x_2	0,105	8,83	0,05	1,1	0,136	1,42	0,02	1,9
x_3	0,116	8,81	0,04	1,4	0,114	1,42	0,01	1,3

Taulukko 15. Keväällä 1973 Sallan koekentälle istutettujen eri tavalla käsiteltyjen taimien kunto (% lukumäärästä). Inventointi 12. 6. -74. Käsittelyt: 1 = kontrolli, 2 = hirvensarviöljykäsittely + urealannoitus, 3 = hirvensarviöljykäsittely ja 4 = urealannoitus.

Table 15. Condition (% of total number) of differently treated seedlings planted in the spring of 1973 on the Salla experimental area. Inventory on June 12, 1974. Treatments: 1 = control, 2 = Animal oil (pyrr. oil animal) + urea fertilization, 3 = Animal oil (pyrr. oil animal), 4 = urea fertilization.

Taimen kunto *Condition of seedling*	Käsittely — *Treatment*					
	1	2	3	4	$\bar{x}$	F
Elossa, yhteensä — *Survival, total* ...	90,8± 7,9	86,7± 5,0	91,1± 8,2	93,6± 7,2	90,6	0,80
Vioittumattomia — *Undamaged*	5,7± 5,4	5,9± 5,9	8,6± 8,8	7,7± 7,3	7,0	0,20
Myyrä tai jänis vioittanut — *Damaged by vole or hare*	30,3±16,1	38,0±20,9	25,4±10,7	39,1±13,7	33,2	0,85
Poro riipinyt — *Damaged by reindeer* ..	54,8±16,6	42,8±21,4	57,1±12,7	46,8±14,0	50,4	0,82

Taulukko 16. Keväällä 1973 Sodankylän koekentälle istutettujen eri tavalla käsiteltyjen taimien kunto (% lukumäärästä). Inventointi 12. 6. -74. Käsittelyt: 1 = kontrolli, 2 = hirvensarviöljykäsittely+ urealannoitus, 3 = hirvensarviöljykäsittely ja 4 = urealannoitus.

Table 16. Condition (% of total number) of differently treated seedlings planted in the spring of 1973 in the Sodankylä experimental area. Inventory on June 12, 1974. Treatments: 1 = cortrol, 2 = Animal oil (pyrr. oil animal)+urea fertilization, 3 = Animal oil (pyrr. oil animal), 4 = urea fertilization.

Taimen kunto *Condition of seedling*	Käsittely — *Treatment*					
	1	2	3	4	$\bar{x}$	F
Elossa, yhteensä — *Survival, total* ...	52,3±14,2	42,3±9,2	54,1±12,3	51,5±9,6	50,1	1,06
Vioittumattomia — *Undamaged*	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	
Myyrä tai jänis vioittanut — *Damaged by vole or hare*	0,3± 0,4	2,0±1,2	1,5± 1,2	3,9±3,1	1,9	3,58*
Poro riipinyt — *Damaged by reindeer* ..	52,0±14,1	40,3±8,2	52,5±12,8	47,5±8,4	48,1	1,29

Sodankylän koekentällä tulos oli selvästi heikompi kuin Sallassa. Vain puolet taimista oli elossa vuoden kuluttua viljelystä (taulukko 16). Täysin vioittumattomia taimia oli kaikkiaan vain kaksi kappaletta, mikä ei vastaa edes 0,1 % istutetuista taimista. Myyrän tai jäniksen vioittamia oli vain 2 % elävistä taimista. Lannoitetut taimet näyttivät olleen myyrille tai jäniksille jonkin verran halutumpaa syötävää kuin lannoittamattomat. Lukemat olivat kuitenkin niin pieniä, että erolla ei ole käytännön merkitystä. Lähes puolet taimista eli lähes kaikki elossaolevat taimet olivat porojen riipimiä. Kuolleet taimet olivat pääasiallisesti porojen maasta irti repimiä.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Pohjois-Suomen poronhoitoalueella tehdyt istutukset ovat osoittaneet, että ensisijaisesti porojen, mutta myös jänisten ja myyrien aiheuttamien tuhojen vuoksi rauduskoivun istutusta ei voida suositella käytännön mittakaavassa tehtäväksi ainakaan nykyisiä viljelymenetelmiä käyttäen (Raulo ja Lähde 1977, Pohtila 1977). Käsillä oleva tutkimus vahvistaa aiempia tuloksia. Jo vuoden kuluessa viljelystä porojen aiheuttamat tuhot auratuilla uudistusaloilla nousivat niin suuriksi, että viljelyn onnistuminen oli kyseenalaista. Taimien hirvensarviöljykäsittely ei vaikuttanut tuhoja vähentävästi. Luontainen uudistaminen ja kylvö tarjonnevat istutusta paremman vaihtoehdon koivua Pohjois-Suomessa uudistettaessa (vrt. Raulo ja Mälkönen 1976, Raulo ja Lähde 1976.

Luontaisesti syntyneet rauduskoivut osoittavat, että viljavilla kasvupaikoilla rauduskoivu on Pohjois-Suomessakin puutuotokseltaan kilpailukykyinen havupuiden kanssa (Raulo 1976, Raulo ja Lähde 1976). Jos edellä mainitut tuhot voitaisiin eliminoida, rauduskoivun istutus onnistuisi tässä työssä aidatulta alueelta saatujen tulosten ja Utsjoella tehtyjen viljelykokeiden (Raulo 1976) mukaan hyvin. Istutettaessa taimet joko syksyllä lehtien kellastuttua tai keväällä ennen lehtien puhkeamista päästään auratulla uudistusalalla pientareeseen viljeltäessä n. 90 %:n onnistumistulok-

seen ja palteeseenkin viljeltäessä suotuisan säätilan vallitessa lähes yhtä hyvään tulokseen. Heikoimmin viljely onnistuu lehtien puhjettua ja niiden ollessa vielä syksyllä vihreitä. Palteeseen viljeltäessä onnistuminen saattaa tällöin pudota parin vuoden kuluessa jopa 30—40 %:iin. Pientareessa istutustyön onnistuminen on varmempaa, kuten on todettu myös muilla puulajeilla (esim. P o h t i l a 1977). Näissä mainituissa tutkimuksissa on kuitenkin kaikissa ollut kyse piennaurauksesta, jossa varsinaisena tarkoituksena ei ole ollutkaan palteen muodostaminen. Tulokset ilmeisesti muuttuvat, kun käytetään palleaurausta ja erityisesti menetelmää, jossa palle tiivistetään aurauksen yhteydessä. Palteeseen istutuksesta nyt saatuja tuloksia heikentää se seikka, että ko. tutkimuksissa palteeseen istutetuiksi on luettu taimia, jotka todellisuudessa on istutettu jopa käsittelemättömään kohtaan pientareen viereen tai palteeseen, jossa kivennäismaata on ollut erittäin vähän käsittelemättömän maan pinnalla.

Viljelyajankohdan humidisuus selitti paremmin palteessa kuin pientareessa kasvaneiden taimien elossaoloa ja pituuskasvua. Tulos on ymmärrettävä, sillä palle on alttiimpi kuivumaan kuin piennar ja näin ollen palteeseen viljelyn onnistuminen on riippuvaisempi istutusajankohdan sade- ja lämpöoloista kuin pientareeseen viljely. Selitysaste ja korrelaatio jäivät kuitenkin tässä aineistossa palteessakin vain n. 20 %:ksi elossaolon osalta ja n. 15 %:ksi kasvaimen pituuden osalta.

Viljelyn onnistumisen kannalta tärkeä merkitys on luonnollisesti sillä seikalla, miten hyväkuntoisiksi taimet on taimitarhalla kasvatettu ja miten hyvin niistä on huolehdittu kasvatus- ja kuljetusvaiheessa ennen istutusta. Tässä tutkimuksessa saatiin koulituilla 1(Mk+A) taimilla parempi onnistumis- ja kasvutulos kuin koulimattomilla 1(Mr—A) taimilla.

Vaikka varsinainen istutustyö onnistuikin elossaolosadanneksella arvioituna paremmin aurauksen pientareessa kuin palteessa, oli taimien kehitys palteissa jo 2—3 vuotta istutuksen jälkeen nopeampaa kuin pientareissa taimilajista ja viljelyajankohdasta riippumatta. L ä h t e e n ja P o h j o l a n (1975) sekä M u t k a n ja L ä h t e e n (1977) tutkimuksissa on voitu männyn taimien kehityksen osalta todeta, että palteen ja pientareen ero tulee näkyviin Pohjois-Suomen olosuhteissa yleensä aikaisintaan kolmannen kasvukauden jälkeen. Tämä ilmiö johtunee siitä, että vasta siinä vaiheessa maan fysikaalisten ominaisuuksien parantuminen palteessa alkaa vaikuttaa taimien kasvuun.

Vuotuisessa pituuskasvussa oli 2—5 ensimmäisen istutuksen jälkeisen vuoden aikana keskimäärin 5 cm:n ero palteen hyväksi. Suurin piirtein yhtä suureen eroon on päädytty vastaavilla uudistusaloilla myös männyllä (esim. L ä h d e ja P o h j o l a 1975, M u t k a ja L ä h d e 1977). Viljelyn jälkeen paremmin elossa säilynyt ja istutus hetkellä kookkaampi ja hyväkuntoisempi taimilaji 1(Mk+A) kasvoi nopeammin kuin taimilaji 1(Mr—A).

Viljelytyön kannalta on merkityksellistä se todettu ilmiö, että ajankohtina, jolloin elossaolosadannes säilyi korkeana, myös taimien kasvu oli nopeinta. Riippuvuus oli palteessa $0{,}530^{xxx}$ ja pientareessa $0{,}490^{xx}$. Suurimmillaan ero eri ajankohtina istutettujen saman taimilajin taimien pituudessa oli viiden kasvukauden jälkeen noin 60 cm.

Pisimmät taimet olivat tällöin keskimäärin 120 cm:n pituisia. Männyn ja kuusen taimien osalta ei ole voitu todeta vastaavissa olosuhteissa aivan yhtä nopeata alkukehitystä (vrt. Lähde ja Pohjola 1975).

6. YHDISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin kasvukauden eri ajankohtina istutettujen ja siten istutushetkellä eri kehitysvaiheessa olleiden rauduskoivun taimien kehitystä aidatulla uudistusalalla Rovaniemen kunnassa (66°23′ N; 25°01′ E; 105 m mpy). Vertailuviljelyksiä, joissa selvitettiin myös urealannoituksen ja taimien hirvensarviöljykäsittelyn vaikutusta eläinten syömätuhojen määrään, tehtiin aitaamattomilla uudistusaloilla Sallan (66°40′ N; 28°45′ E; 280 m mpy) ja Sodankylän (67°50′ N; 26°10′ E; 340 m mpy) kunnissa. Kaikkien koealueiden maa oli hietamoreenia ja se oli käsitelty piennarauralla. Koealueilla oli aikaisemmin kasvanut kuusivaltaista metsää, jossa esiintyi sekapuuna hieskoivua ja haapaa.

Aidatulla alueella viljelyt tehtiin aurausjäljen pientareeseen ja palteeseen. Istutuksessa käytettiin Pakatin taimitarhalla (67°40′ N; 24°55′ E; 185 m mpy) kasvatettuja koulittuja 1(Mk+A) taimia ja Imarin taimitarhalla (66°30′ N; 25°35′ E; 100 m mpy) kasvatettuja koulimattomia 1(Mr—A) taimia. Kaikkien taimien kasvatuksessa käytettiin Kittilän kunnassa sijaitsevasta Sätkenävaaran rauduskoivikosta kerättyä metsikkösiementä. Viljelyt tehtiin kolmena vuositoistona; 1971—72, 1972—73 ja 1973—74. Kunakin vuositoistona istutettiin sekä palteeseen että pientareeseen molempia kokeiltavia taimilajeja, joiden kehitysvaihe istutettaessa oli seuraava: lehdet syksyllä vihreät, lehdet kellastuneet, lehdet varisseet; lehtisilmut keväällä lepotilassa, lehtisilmut turvonneet ja lehtisilmut avautuneet (lehdet hiirenkorvalla).

Istutukset tehtiin kunakin istutuskertana seitsemänä 15 taimen toistona.

Vertailuviljelykset aitaamattomille uudistusaloille Sallan ja Sodankylän kuntiin perustettiin keväällä 1973 käyttäen 1(Mk+A) taimia (Alkuperä: Kittilä, Sätkenävaara). Näissä kokeissa osa taimista lannoitettiin urealla ja osa siveltiin hirvensarviöljyllä. Näin pyrittiin selvittämään, voidaanko em. käsittelyillä vaikuttaa porojen, jänisten ja myyrien syömätuhojen määrään rauduskoivun viljelyaloilla Pohjois-Suomessa. Kokeet perustettiin viitenä 90—150 taimen toistona.

Aidatulla Rovaniemen koealueella taimien elossaolo ja verson pituus sekä sen vuotuinen pituuskasvu inventoitiin vuosittain. Sallan ja Sodankylän vertailukoealoilla taimet inventoitiin vain viljelyvuoden jälkeisenä kesänä. Tällöin selvitettiin taimien elossaolo ja vioittuneiden taimien tuhonaiheuttaja.

Aidatulta alueelta saatujen tulosten mukaan onnistuisi rauduskoivun istutus Pohjois-Suomessa hyvin, jos porojen sekä jänisten syömätuhot voitaisiin eliminoida. Mikäli taimet istutetaan syksyllä niiden lehtien kellastuttua tai keväällä ennen lehtisilmujen puhkeamista, päästään pientareeseen viljeltäessä noin 90 %:n onnistumistulokseen ja palteeseenkin viljeltäessä lähes yhtä hyvään tulokseen istutettaessa taimet

suotuisan säätilan vallitessa. Keväällä viljely onnistuu heikoimmin istutettavien taimien lehtisilmujen puhjettua ja syksyllä lehtien ollessa vielä vihreitä.

Viljelyn onnistumiseen vaikuttaa ratkaisevasti se, miten hyväkuntoisiksi taimet on taimitarhalla kasvatettu ja miten hyvin niistä on huolehdittu kuljetuksen ja välivarastoinnin aikana ennen istutusta. Istutusvaiheessa hyväkuntoisemmat ja pidemmät 1(Mk+A) taimet antoivat selvästi paremman onnistumis- ja kasvutuloksen kuin heikkokuntoisemmat 1(Mr—A) taimet.

Taimien kehitys piennarauraukseen palteessa, joka ei yleensä vastaa laadultaan palleaurauksen palletta, oli jo 2—3 vuoden kuluttua istutuksesta huomattavasti nopeampaa kuin pientareessa taimilajista ja viljelyajankohdasta riippumatta. Taimien vuotuisessa pituuskasvussa oli tutkitussa aineistossa 2—5 ensimmäisen kasvukauden aikana keskimäärin 5 cm:n ero palteeseen ja pientareeseen istutettujen taimien välillä. Viljelyajankohdan humidisuus (sademäärä/keskilämpötila) selitti paremmin palteessa kuin pientareessa kasvaneiden taimien elossaoloa ja pituuskasvua. Istutusajankohtina, jolloin taimien elossaolo säilyi korkeana, oli taimien kasvu myös nopeinta.

Viiden kasvukauden kuluttua istutuksesta olivat pisimmät taimet palteissa saavuttaneet n. 120 cm:n pituuden. Eri ajankohtina istutettujen saman taimilajin taimien suurin ero keskipituuksissa oli tällöin 60 cm.

Aitaamattomien alueiden koeviljelyt osoittivat, että porojen syömätuhojen vuoksi viljelyt epäonnistuivat. Käytetyllä urealannoitus- ja hirvensarviöljykäsittelyllä ei ollut sanottavaa vaikutusta lähinnä porojen aiheuttamien tuhojen määrään.

7. KIRJALLISUUS

LÄHDE, E. 1974a. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Seloste: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. Commun. Inst. For. Fenn. 84 (3): 1—23.

—»— 1974b. The effect of seed-spot shelters and cold stratification on germination of pine (*Pinus silvestris* L.) seed. Seloste: Kylvösuojan ja kylmästratifioinnin vaikutus männyn siemenen itämiseen. Folia For. 196: 1—16.

—»— & 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. Commun. Inst. For. Fenn. 83 (3): 1—43.

—»— & POHJOLA, T. 1975. Maan käsittelyn vaikutus männyn ja kuusen taimien alkukehitykseen. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 8: 1—29.

MUTKA, K. & LÄHDE, E. 1977. Effect of soil treatment, liming and phosphate fertilization on initial development of bare-rooted Scots pine transplants. Seloste: Maan käsittelyn, kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (3): 1—57.

POHTILA, E. 1972. Tutkimuksia aurattujen alojen metsänviljelymenetelmistä Koillis-Suomessa. Tulokset vuosina 1967—68 tehdyistä männyn kylvö- ja istutuskokeista. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 6: 1—97.

—»— 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 91 (4): 1—98.

RAULO, J. 1976. Development of *Betula pendula* Roth progenies in Northern Lapland. Seloste: Rauduskoivujälkeläistöjen kehitys Pohjois-Lapissa. Commun. Inst. For. Fenn. 88 (4): 1—19.

—»— & HINTTALA, T. 1975. Taimilajien merkitsemisestä. Metsä ja Puu 92: 23.

—»— & LÄHDE, E. 1976. Ennakkotuloksia rauduskoivun kylvökokeista Lapissa. Summary: Preliminary results on sowing experiments with *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland. Folia For. 279: 1—11.

—»— & LÄHDE, E. 1977. Rauduskoivun istutustuloksia Lapissa. Summary: Reforestation results of *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland. Folia For. 325: 1—10.

—»— & MÄLKÖNEN, E. 1976. Koivun luontainen uudistuminen muokatulla kangasmaalla. Summary: Natural regeneration of birch (*Betula verrucosa* Ehrh. and *B. pubescens* Ehrh.) on tilled mineral soil. Folia For. 252: 1—15.

SIRÉN, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus site in northern Finland and its ecology. Seloste: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta For. Fenn. 62 (4): 1—408.

8. SUMMARY

The development of birch seedlings outplanted at different dates during the growing season was studied on a fenced reforestation area in Rovaniemi commune (N 66°23′, E 25°01′, elev. 105 m). Due to the different planting dates, the seedlings were in different developmental stages. Control plantings were made on unprotected areas in the communes of Salla (N 66°40′, E 28°45′, elev. 280 m) and Sodankylä (N 67°50′, E 26°10′, elev. 340 m). On these areas the effects of urea fertilization and treatment with Animal oil (pyrr. oil animal) on browsing damage were studied. On all experimental plots the soil was fine sand glacial till and was ploughed with a shoulder plough. Previously, a spruce stand mixed with pubescent birch and aspen had grown on the areas.

On the fenced area the planting was done on the shoulder and tilt of the ploughed track. The nursery stock used (transplanted 1 (Mk+A) seedlings) was produced at the nursery in Pakatti (N 67° 40′, E 24°55′, elev. 185 m) and non-transplanted 1 (Mr—A) seedlings were produced at the nursery in Imari (N 66°30′, E 25°35′, elev. 100 m). For all nursery stock the seed was collected from a silver birch stand in Sätkenävaara in the commune of Kittilä. The planting was repeated 3 years: 1971—72, 1972—73 and 1973—74. Each year both types of nursery stock were planted both on the shoulder and the tilt. The nursery stock was at the following developmental stages: leaves green in the fall, leaves yellow, leaves fallen, buds dormant in the spring, buds swollen, and open buds (i.e. the leaves coming out). In each planting 15 seedlings were planted in 7 replications.

The controls on unprotected areas in the communes of Salla and Sodankylä were planted in the spring of 1973 using 1 (Mk+A) seedlings (provenance: Kittilä, Sätkenävaara). In these experiments some seedlings were fertilized with urea; others were treated with Animal oil (pyrr. oil animal). This was to find out if these treatments could protect the seedlings from browsing damage by reindeer, hares and rodents. The experiments were planted on 5 replications with 90—150 seedlings each.

On the fenced experimental area in Rovaniemi the seedling height and annual height growth were measured each year. Survival was recorded at the same time. On the control areas in Salla and Sodankylä the inventory was made only the summer after planting. At this time survival and the causal agents of damages were recorded.

According to the results from the fenced area, the planting of silver birch in North Finland was very successful, provided that damage by reindeer and hares was eliminated. If the seedlings are planted in the fall after their leaves turn yellow or in the spring before bud break, the success when planted on the shoulder is 90 % and on the tilt nearly as good if the weather at planting time is favorable. In the spring the success is reduced if the buds have opened and in the fall if the leaves are still green. Planting success is strongly influenced by how well the seedlings have been raised in the nursery and how well they have been cared for during transport and temporary storage before planting.

The 1 (Mk+A) seedlings, which were in better condition and taller at the time of planting, had clearly better survival and growth rates than the 1 (Mr—A) seedlings, which were in a poorer condition.

The development of the seedlings planted on the tilt made by a shoulder plough (this tilt usually is not of the same quality as the tilt made by a tilt plough) was after 2—3 years after planting already considerably faster than those on the shoulder, regardless of type of nursery stock or planting date.

The average difference in the annual height growth during the 2—5 first growing seasons between seedlings on the tilt and those on the shoulder was 5 cm in the material studied. The humidity (precipitation/mean temperature) at the planting date explained better survival and growth of the seedlings planted on the tilt than on the shoulder. For those planting dates when survival was high, height growth was also most rapid.

Five growing seasons after planting the tallest seedlings on the tilt were 120 cm. At this time the largest difference in height between seedlings of the same stock but planted at different dates was 60 cm.

On the unprotected areas the results showed that reforestation was unsuccessful due to browsing by reindeer. Urea fertilization and treatment with Animal oil (pyrr. oil animal) did not have any detectable effect on the amount of damage caused primarily by reindeer.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS — *THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*
Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

Ylijohtaja — *Director:* Holopainen, Viljo, professori, MMT, *Professor, DF*
Tiedotuspäällikkö — *Information officer:* Heiramo, Tuomas, VTM, *M.Pol.Sc.*
Toimittaja — *Editor:* Oja, Seppo, ekonomi, *B.Econ.*

MAANTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE*
Professori — *Professor: vacant*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Mälkönen, Eino, MMT, *DF*

SUONTUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF PEATLAND FORESTRY*
Professori — *Professor:* Huikari, Olavi, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Paavilainen, Eero, MMT, *DF*

METSÄNHOIDON TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF SILVICULTURE*
Professori — *Professor:* Sirén, Gustaf, MMT, *DF*
Erikoistutkijat — *Senior research specialists:* Leikola, Matti, MMT, *DF*, Lähde, Erkki, MMT, *DF*

METSÄNJALOSTUKSEN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST GENETICS*
Professori — *Professor:* Hagman, Max., MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Koski, Veikko, FT, *Ph.D*

METSÄNSUOJELUN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST PROTECTION*
Metsäpatologia — *Forest Pathology:*
Professori — *Professor:* Kallio, Tauno, MMT, *DF*
Metsäeläintiede — *Forest Zoology:*
Professori — *Professor:* Juutinen, Paavo, MMT, *DF*

METSÄNARVIOIMISEN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST INVENTORY AND YIELD*
Metsäninventointi — *Forest Inventory:*
Professori — *Professor:* Kuusela, Kullervo, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Tiihonen, Paavo, MMT, *DF*
Puuntuotos — *Forest Yield:*
Professori — *Professor:* Vuokila, Yrjö, MMT, *DF*

METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST TECHNOLOGY*
Puuntutkimus — *Utilization of Forest Products:*
Professori — *Professor:* Heiskanen, Veijo, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Kärkkäinen, Matti, MMT, *DF*
Metsätyötiede — *Forest Operations:*
Professori — *Professor:* Hakkila, Pentti, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Harstela, Pertti, MMT, *DF*

METSÄEKONOMIAN TUTKIMUSOSASTO — *DEPARTMENT OF FOREST ECONOMICS*
Kansantaloudellinen metsäekonomia — *Social Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Heikinheimo, Lauri, MMT, *DF*
Erikoistutkija — *Senior research specialist:* Palo, Matti. MMT, *DF*
Liiketaloudellinen metsäekonomia — *Business Economics of Forestry:*
Professori — *Professor:* Hämäläinen, Jouko, MMT, *DF*

MATEMAATTINEN OSASTO — *DEPARTMENT OF MATHEMATICS*
Professori — *Professor:* Seppälä, Risto, VTT, *D.Pol.Sc.*

KOKEILUALUETOIMISTO — *EXPERIMENTAL FOREST OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Luoma, Kauko, ylimetsänhoitaja, *BF*

HALLINTOTOIMISTO — *ADMINISTRATION OFFICE*
Toimistopäällikkö — *Head:* Sohkanen, Kari, VT, *LL.B*

ISSN 0026-1610